

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015

Bandung, 10-11 Desember 2015

Prosiding

Diselenggarakan Oleh:

Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi ITB

Center for Instrumentation Technology and Automation (CITA)
ITB



Didukung Oleh:



Editor:

Tim Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015

Penyunting:

Abdullah Nur Aziz, Dr.

Adhitya Sumardi Sunarya, M.Si

Agus Muhammad Hatta, Ph.D

Ahmad Qurthobi, ST., MT.

Ajat Sudrajat, Ir., MT

Anton Irawan, ST., MT., Dr.-Ing

Awang Noor Indra Wardana, Dr.-Ing

Bambang Riyanto T, Ir., Dr., Prof

Deddy Kurniadi, Dr., Prof.

Emir Mauludi Husni, Ir., M.Sc., Ph.D

Endarko, Ph.D

Endra Joellianto, Ph.D

Fitria Hidayanti, S.Si., M.Si.

Khairurrijal, Dr. Eng., Prof

Mitra Djamal, Dr. Ing., Prof

Ni Njoman Manik Susantini, ST, MT

Nuryanti, ST, M.Sc

Ruminto Subekti, SST, MT

Siti Nurmaini, Ir., MT., Dr., Prof

Suprijadi Harjono, M.Eng., Dr

Suprijanto, Dr

Sutanto Hadisupadmo, Dr.

Tua Tamba A, Ph.D

Penerbit:

Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi ITB

Redaksi:

Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi ITB

Alamat : Litbang (ex.PAU) Lt.8 Jl. Ganesa 10 Bandung 40132, Indonesia

Tel. +62-22-2514452 Tel / Fax. +62-22-2534285.

Email : jurnal_oki@instrument.itb.ac

Buku ini berisi mengenai makalah yang dipresentasikan pada Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015, tanggal 10-11 Desember 2015, Aula Timur – Institut Teknologi Bandung.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin dari panitia.

© Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015

Panitia SNIKO 2015

KATA PENGANTAR

Sungguh merupakan kehormatan bagi kami, Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung untuk dapat berkumpul bersama Bapak dan Ibu sekalian pada Seminar Nasional Instrumentasi dan Kontrol (SNIKO) 2015. Seminar nasional ini adalah kesempatan kita bersama untuk bertemu dan menjalin kerjasama antara para akademisi, praktisi di industri, serta pimpinan birokrasi dalam mengembangkan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang instrumentasi, kontrol dan otomasi di Indonesia.

Urgensi kebersamaan dan kerjasama ini makin tinggi, khususnya dalam menghadapi Pasar Bebas ASEAN 2016. Pasar bebas ini menuntut masyarakat Indonesia untuk mampu mengembangkan produk yang kompetitif dari segi mutu, harga dan kemudahan produksi, serta keandalan operasionalnya. Kriteria-kriteria tersebut dapat dicapai dengan pendayagunaan sistem instrumentasi, kontrol dan otomasi yang tepat, handal serta efisien. Kualitas ini hanya dapat tercapai melalui kolaborasi, antara pengembangan teknologi instrumentasi, kontrol dan otomasi terkini yang dikembangkan di Perguruan Tinggi, kesempatan dan dukungan untuk mengimplementasikannya di dunia Industri, serta dukungan dan perlindungan dalam bentuk regulasi yang ditetapkan oleh Pemerintah sebagai pemegang kebijakan pengembangan Industri.

Karena itulah, SNIKO mengusung tema “Tantangan Masyarakat Otomasi, Kontrol dan Industri (MOKI) dalam Menghadapi Pasar Bebas ASEAN”. Besar harapan kami, bahwa tema ini dapat menyatukan kita semua, baik dari Perguruan Tinggi, Industri dan Pemerintah untuk bekerjasama menghadapi tantangan tersebut.

Kami sungguh berbahagia, bahwa tema tersebut tercerminkan dengan baik melalui para Pembicara Utama, yang masing-masing membawakan isu pengembangan instrumentasi, kontrol dan otomasi terkini dan terdepan. Dimulai dari pembahasan tentang data dan informasi meteorologi, klimatologi dan geofisika yang sangat penting perannya dalam menyusun strategi perekonomian Indonesia. Hal ini juga didukung oleh berbagai terobosan bidang mekatronika dan robotika sebagai penggerak industri dalam berbagai skala. Industri-industri ini membutuhkan dukungan energi. Karena itu pulalah, strategi dan implementasi bauran energi disampaikan dalam seminar ini. Berbagai perkembangan tersebut akan tinggal landas dengan cepat bila mendapatkan dukungan teknologi optika terkini dalam menghasilkan sistem akuisisi data yang komprehensif dan berkecepatan tinggi.

SNIKO juga tidak akan terlaksana tanpa dukungan panitia yang telah mencurahkan pikiran dan tenaganya untuk mensukseskan acara ini. Untuk itu, kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya pada seluruh jajaran panitia SNIKO 2015. Semoga SNIKO membuka berbagai kerjasama baru, serta memberi kenangan indah dan tidak terlupakan bagi kita semua.

Ketua Seminar Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi 2015

Estiyanti Ekawati, Ph.D

DAFTAR ISI

INSTRUMENTASI

RANCANG BANGUN SISTEM PERINGATAN SUHU Pengereman Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 16	1
DESAIN SEPATU BERPIEZOELEKTRIK SEBAGAI SISTEM Pemanen Energi Dari Aktivitas Berjalan Manusia	8
IDENTIFIKASI SISTEM TEMPERATUR AIR UMPAN DEaerator Pada Pembangkit Listrik Tenaga UAP.....	14
KONSEP SATUAN Hilang Energi Dalam Aliran Fluida.....	19
RETROFIT SISTEM Pencampuran 2 Fluida Beda Warna Menggunakan Mikrokontroler ...	30
PERANCANGAN EARLY WARNING SYSTEM Kondisi Cuaca Variabel Kelembaban Lingkungan Pencegahan Kecelakaan Transportasi Kereta Api Akibat Banjir Skala Laboratorium ..	39
STUDI REKONSTRUKSI PERMUKAAN WAJAH Secara 3-Dimensi Menggunakan Metode Profilometri Frinji Digital.....	45
CMOS OSILATOR CINCIN Dengan Keluaran Quadratur Dengan Pengendalian Frekuensi .	53
PENGUKURAN REFLEKSI AKUSTIK BOLA SPHERE Menggunakan Instrumen Quantified Fish Finder.....	57
RANCANG BANGUN INSTRUMEN AUTONOMOUS Pengukur Parameter Fisik Laut	61
PERANCANGAN KALKULATOR <i>BALANCING</i> Berbasis Antarmuka Grafis	65
PENGUNAAN MOTOR BLDC Pada Mesin CNC Dengan Teknologi Instaspin- Motion Dari Texas Instrument	72
KAJIAN <i>INJECTION LOCKING</i> Untuk Pengurangan Pengaruh Derau Fasa Pada Osilator CMOS	78

KONTROL

RANCANG BANGUN MODUL KONTROL SIMULATOR REFRIGERASI ADSORPSI BERBASIS ARDUINO DAN LABVIEW.....	83
IMPLEMENTASI METODE KORELASI SILANG UNTUK DETEKSI FRIKSI STATIS KATUP DI KALANG KONTROL	91
KONTROL NAVIGASI ROBOT BERODA PADA KONTES ROBOT PEMADAM API INDONESIA (KRPAI) MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC	100
RANCANG BANGUN PROTOTIPE WAHANA BAWAH AIR TIPE WORKING CLASS ROV (REMOTE OPERATING VEHICLE)	107
PEMODELAN DAN RANCANG BANGUN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE DENGAN ENAM PROPELLER.....	115
PERANCANGAN DAN KONTROL MODE OPERASI TATA UDARA RUANG BEDAH	121
RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL OTOMASI FERTIGASI PARAMETER SUHU SISTEM AEROPONIK PADA CAISIM	129
IMPLEMENTASI ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM UNTUK PREDIKSI PRODUKSI ENERGI LISTRIK DI PLTA WONOGIRI	133
IMPLEMENTASI NEAR FIELD COMMUNICATION (NFC) DAN KARTU RFID SEBAGAI PERANGKAT MOBILE PRESENSI MAHASISWA.....	140
IDENTIFIKASI SISTEM TURBIN GAS MENGGUNAKAN METODE ANALISIS KORELASI DAN ALGORITMA REALISASI	150
PEMODELAN SISTEM TERDISTRIBUSI MENGGUNAKAN METODE HIRARKI PADA POWER PLANT PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU).....	155
ESTIMASI WAKTU INJEKSI BAHAN BAKAR PADA MESIN 4 LANGKAH DENGAN MENGGUNAKAN ANFIS	163
PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI OSILOSKOP DIGITAL BERBASIS SOUND CARD	167

OTOMASI

PERANCANGAN <i>OPERATOR TRAINING SIMULATOR</i> (OTS) DAN PENGONTROL PID <i>MINI PLANT FLOW</i> MENGGUNAKAN DCS.....	174
‘PHANTOM VIRTUAL’ TOMOGRAFI ELEKTRIK BERBASIS KONSEP RANGKAIAN RESISTOR - II	180
OPTIMASI MODEL IDENTIFIKASI BAHAN BAKAR MINYAK MELALUI PEMILIHAN FITUR	184
EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI INDUSTRI PUPUK.....	190
PROSES AUTO VISUAL INSPEKSI PADA ENGINE PISTON DENGAN APLIKASI KAMERA DAN ROBOT YANG TERINTEGRASI	195
PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI HIGH AVAILABILITY CLUSTER WEB SERVER BERBASIS DBRD DAN HEARTBEAT	205
OPERASI VALAS: IDENTIFIKASI NOMINAL DENGAN METODE <i>CANNY EDGE DETECTION</i> DAN <i>TEMPLATE MATCHING</i>	212
SISTEM PAKAR PENCEGAHAN EPIDEMI DEMAM BERDARAH DENGUE.....	222
APLIKASI <i>MOBILE</i> MENGGUNAKAN <i>FRAMEWORK PHONEGAP</i> UNTUK <i>MONITORING</i> PERSEDIAAN BARANG PADA PERUSAHAAN DISTRIBUSI SECARA <i>REAL-TIME</i>	229
PENGUNAAN SCADA DALAM SISTIM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI KILANG UNIT II DUMAI	237
SISTEM KENDALI PID PADA PENGENDALIAN SUHU UNTUK KESTABILAN PROSES PEMANASAN MINUMAN SARI JAGUNG.....	242

Rancang Bangun Sistem Peringatan Suhu Pengereman Berbasis Mikrokontroler ATmega 16

M.Fariz Anjasmara¹⁾, Yusuf Bronto Laras²⁾, Wildan Habiburrohman Azrie³⁾, Lolyta Prima Wardiana⁴⁾, Sigit Setijo Budi⁵⁾

^{1,2,3,4}Teknik Keselamatan Otomotif, Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Jalan Semeru No.3 Kota Tegal 52122

muhammadfarizanas@gmail.com¹⁾, yusufbl.7eleven@gmail.com²⁾, habib.pktj@gmail.com³⁾, lolytapw@yahoo.com⁴⁾, sets189@gmail.com

Abstrak

Keselamatan di jalan merupakan hak seluruh pengguna jalan. Pada kenyataannya hal tersebut masih sulit dicapai karena tingkat kecelakaan yang masih tinggi. Salah satu faktor kecelakaan adalah kendaraan yang tidak berkeselamatan dengan penyebab didominasi masalah pada rem. Masalah yang sering terjadi yaitu tingkat panas berlebih (*overheating*) pada sistem rem yang menyebabkan gagal rem (*fading*). Penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi suhu kerja pengereman dan memberikan sistem peringatan dini (*early warning system*) *overheating* kepada pengemudi. Metode yang digunakan pada sistem ini dirancang menggunakan ATmega 16 dan sensor LM35 yang akan bekerja jika suhu mencapai 50°C setara dengan besaran suhu pada pengereman mencapai 200°C dengan skala 1 : 4. Rancang bangun sistem peringatan dini bekerja secara optimal memberikan peringatan kepada pengemudi melalui tampilan LCD, peringatan LED dan buzzer pada kabin kendaraan.

Kata Kunci: kecelakaan; fading; overheating; sensor panas; mikrokontroler

1 Pendahuluan

Jumlah kendaraan di Indonesia yang sangat tinggi berpotensi meningkatkan angka kecelakaan di jalan. Data POLRI menunjukkan jumlah kecelakaan di Indonesia pada tahun 2005-2009 rata-rata terjadi 69.855 kasus kecelakaan [1]. Mayoritas kecelakaan yang terjadi disebabkan karena faktor kendaraan. Meskipun tidak didapat rincian mengenai jenis kendaraan mana yang banyak menimbulkan kecelakaan, namun kebanyakan penyebab kecelakaan tersebut adalah karena terjadinya rem blong [2,3,4].

Sistem rem merupakan komponen yang dapat mengurangi kecepatan dan untuk menghentikan kendaraan [5]. Berdasarkan hal tersebut, maka komponen pada sistem dituntut untuk mampu menghentikan laju kendaraan dalam segala tingkatan kecepatan, beban, maupun medan jalan yang dilalui. Pada saat terjadi pengereman, suhu kerja pada komponen sangat mempengaruhi tingkat pengereman. Suhu kerja yang berlebih (*overheating*) dapat menyebabkan rem blong,

karena kerja dari rem sendiri menjadi kurang maksimal.

Salah satu komponen sistem rem yang sangat berpengaruh adalah kampas rem. Kampas rem asbestos akan terjadi blong (*fading*) pada suhu pengereman mencapai 200°C, ini disebabkan karena faktor kandungan resin yang tinggi pada asbestos sehingga pada suhu tinggi kampas rem cenderung licin (*glazing*). Pada kampas rem yang non asbestos lebih tahan panas dan terjadi *fading* pada saat pengereman mencapai 350°C, hal ini dikarenakan komposisi bahan *friction aditive* yang lebih banyak sehingga koefisien gesekannya juga semakin tinggi [6].

Upaya untuk mengurangi tingkat panas yang ditimbulkan pada saat pengereman sebelumnya pernah dikembangkan, yaitu sistem pendingin paksa panas berlebih (*overheating*) pada rem cakram kendaraan oleh Joni Dewanto dan Andreas Wijaya [7]. Namun demikian sistem pendingin paksa ini masih kurang efektif karena dengan metode penyemprotan air pada saat komponen rem mencapai suhu kerja maksimal ini dapat mengakibatkan *rotor disc* menjadi melenting [8].

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat rancang bangun sistem peringatan suhu pengereman berbasis mikrokontroler ATmega 16 serta pembacaan hasil yang dapat ditampilkan pada LCD di dashboard kendaraan sehingga pengemudi dapat mengetahui informasi mengenai kondisi suhu kerja pengereman pada saat dilakukan pengereman.

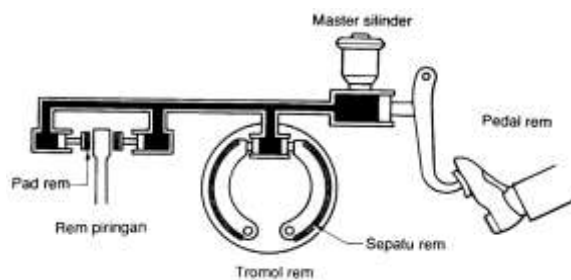
Penelitian ini masih dalam skala laboratorium, sehingga terdapat beberapa hal yang perlu dibatasi yaitu pembacaan suhu >50°C oleh sensor sama dengan suhu mencapai 200°C pada suhu kerja pengereman sesungguhnya.

2 Diskusi

2.1 Sistem Rem

Prinsip rem adalah merubah energi gerak menjadi energi panas. Umumnya, rem bekerja disebabkan

oleh adanya sistem gabungan penekanan melawan sistem gerak putar. Efek pengereman (braking effect) diperoleh dari adanya gesekan yang ditimbulkan antara dua objek/benda. Berdasarkan mekanismenya, sistem rem dibedakan menjadi dua yaitu tipe tromol (drum brake) dan tipe piringan (disc brake).



Gambar 1 sistem kerja rem (sistem rem, isuzu training center)

Komponen utama dalam sistem pengereman yaitu kampas rem. Kampas rem digunakan dalam proses pengereman dengan dorongan dari piston rem pada tipe piringan (disc brake) dan silinder roda pada tipe tromol (drum brake). Kampas rem terdiri dari dua tipe bahan yaitu asbestos dan non asbestos.

2.2 Kampas Rem

Kampas rem merupakan salah satu komponen yang terdapat dalam setiap kendaraan. Kampas rem merupakan media yang berfungsi untuk memperlambat dan menghentikan laju kendaraan. Pada saat laju kendaraan tinggi, kampas rem memiliki beban mencapai 90% dari komponen lainnya. Kampas rem dari bahan asbestos hanya memiliki 1 fiber yaitu asbes. Kampas rem bahan asbestos hanya mampu bertahan sampai dengan suhu 200°C dan akan blong (*fading*) pada temperatur 250°C. Sedangkan Kampas rem yang terbuat dari bahan non asbestos terdiri dari 4 sampai 5 macam fiber antara lain Kevlar, steel fiber, rock wool, cellulose dan carbon fiber. Kampas rem bahan non asbestos mampu bertahan sampai suhu 360°C sehingga cenderung stabil (tidak *fading*).

2.3 Mikrokontroler ATmega 16

Mikrokontroler merupakan otak dari seluruh kerja sistem. Pada sistem rancang bangun alat digunakan mikrokontroler ATmega 16 yang diproduksi oleh ATMEL. ATmega 16 mempunyai output mendekati 1 Millions Instructions Per Second (MIPS) per MHz, sehingga mempunyai konsumsi daya menjadi lebih rendah terhadap kecepatan proses eksekusi perintah [9]. Pada rancang bangun ini ATmega menerima input dari

sensor LM35, memproses dan untuk selanjutnya memberikan output kepada LCD, LED serta buzzer.

PDIP				
DECK/PG0	PG0	1	40	WAD (AUX0)
(U1)	PG1	2	39	PA1 (AUX1)
(INT0/AN0)	PG2	3	38	PA2 (AUX2)
(OC0A/AN1)	PG3	4	37	PA3 (AUX3)
(G2)	PG4	5	36	PA4 (AUX4)
(MCLR)	PG5	6	35	PA5 (AUX5)
(MCLR)	PG6	7	34	PA6 (AUX6)
(MCLR)	PG7	8	33	PA7 (AUX7)
RESET	PG8	9	32	AMP
PG9	PG9	10	31	SGND
PG10	PG10	11	30	AVCC2
PG11	PG11	12	29	PGT
PG12	PG12	13	28	PGT (TOUGES)
PG13	PG13	14	27	PGT (TOUGES)
(MCLR)	PG14	15	26	PGT (U1)
(MCLR)	PG15	16	25	PGT (U1)
(MCLR)	PG16	17	24	PGT (U1)
(MCLR)	PG17	18	23	PGT (U1)
(MCLR)	PG18	19	22	PGT (U1)
(MCLR)	PG19	20	21	PGT (U1)

Gambar 2 datasheet ic atmega 16 (datasheet atmega 16, atmel)

2.4 Code Vision AVR

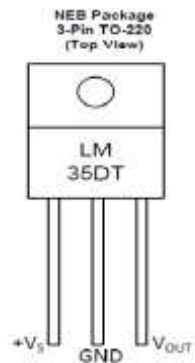
Code Vision AVR merupakan bahasa pemrograman yang digunakan pada sistem rancang bangun suhu pengereman ini. Penggunaan Code Vision AVR didasari oleh desain mikrokontroler ATmega 16 produksi ATMEL yang digunakan pada sistem. Code Vision AVR merupakan sebuah cross compiler C, Integrated Development Environment (IDE) dan Automatic Program Generator yang didesain untuk mikrokontroler buatan ATMEL seri AVR [10].

2.5 ISIS Proteus Profesional 7

ISIS Proteus Profesional seri 7 digunakan sebagai program simulasi rangkaian sistem. Penggunaan program ISIS Proteus Profesional seri 7 pada sistem ini didasari oleh penggunaan yang lebih mudah, dapat menjalankan IC program ATmega 16, support terhadap program sebelumnya yaitu Code Vision AVR serta dapat membuat layout PCB berdasarkan simulasi rangkaian yang dibuat.

2.6 Sensor Panas (LM35 3 pin)

LM 35 digunakan sebagai sensor suhu pada sistem ini. Alasan mengapa digunakannya sensor LM35 dibandingkan dengan sensor suhu yang lain adalah LM35 memiliki sensitivitas suhu dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 m Volt/OC, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam celcius. Juga memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu 0,5oC pada suhu 15oC, memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55°C sampai +150 °C dan bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt [11].



Gambar 3 datasheet lm35 3 pin (*lm35 precision centigrade temperature sensors*)

2.7 Bahasa Pemrograman Mikrokontroler

Pada simulasi ini digunakan mikrokontroler ATmega 16 untuk mengolah input dari sensor suhu LM35. Pemrograman mikrokontroler menggunakan bahasa C++, serta pembuatan program ATmega 16 menggunakan Code Vision AVR untuk menulis bahasa pemrograman pada mikrokontroler. Pada tahap Inisialisasi, LCD diatur untuk menampilkan kondisi suhu sesuai dengan suhu kerja rem. Untuk menampilkan karakter pada LCD, maka dituliskan program sebagai berikut:

```
lcd_init(16);
lcd_puts("D IV OTOMOTIF");
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts("ANG I");
delay_ms(200);
lcd_clear();
```

Ketika running, simulasi LCD akan menampilkan tulisan "D IV OTOMOTIF ANG I", dengan bahasa pemrograman seperti di atas. Pengaturan bahasa pemrograman guna mendapatkan output berdasarkan input yang masuk juga dilakukan dengan menggunakan Code Vision AVR. Keseluruhan sensor input harus diprogram terlebih dahulu agar tahanan pembacaan sensor yang berubah dapat dibaca oleh mikrokontroler. Mikrokontroler juga perlu diatur agar output sensor dapat berjalan sesuai dengan perintah yang dimasukkan, untuk menentukan sensor input dan mengatur output dari sensor digunakan bahasa program sebagai berikut:

```
adc1 = read_adc(0);
hadc1 = adc1*500.0/1023;
suhu1 = (int)hadc1;
```

```
itoa(suhu1,hasiladc1);
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(hasiladc1);

adc2 = read_adc(1);
hadc2 = adc2*500.0/1023;
suhu2 = (int)hadc2;
itoa(suhu2,hasiladc2);
lcd_gotoxy(4,0);
lcd_puts(hasiladc2);

adc3 = read_adc(2);
hadc3 = adc3*500.0/1023;
suhu3 = (int)hadc3;
itoa(suhu3,hasiladc3);
lcd_gotoxy(8,0);
lcd_puts(hasiladc3);
lcd_gotoxy(12,0);
lcd_putsf("\xdf");
lcd_putsf("C");

adc4 = read_adc(3);
hadc4 = adc4*500.0/1023;
suhu4 = (int)hadc4;
itoa(suhu4,hasiladc4);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts(hasiladc4);

adc5 = read_adc(4);
hadc5 = adc5*500.0/1023;
suhu5 = (int)hadc5;
itoa(suhu5,hasiladc5);
lcd_gotoxy(4,1);
lcd_puts(hasiladc5);
adc6 = read_adc(5);
hadc6 = adc6*500.0/1023;
suhu6 = (int)hadc6;
itoa(suhu6,hasiladc6);
lcd_gotoxy(8,1);
```

```
lcd_puts(hasiladc6);  
lcd_gotoxy(12,1);  
lcd_putsf("\xdf");  
lcd_putsf("C");  
delay_ms(200);  
//650 pada alat  
  
if (suhu1>50) {  
PORTD.7=1;  
lcd_gotoxy(0,0);  
//lcd_puts("1.H");  
}  
else {  
PORTD.7=0;  
lcd_gotoxy(0,0);  
//lcd_puts("1.N");  
}  
if (suhu2>50) {  
PORTD.6=1;  
lcd_gotoxy(4,0);  
//lcd_puts("2.H");  
}  
else {  
PORTD.6=0;  
lcd_gotoxy(4,0);  
//lcd_puts("2.N");  
}  
if (suhu3>50) {  
PORTD.5=1;  
lcd_gotoxy(8,0);  
//lcd_puts("3.H");  
}  
else {  
PORTD.5=0;  
lcd_gotoxy(8,0);  
//lcd_puts("3.N");  
}  
if (suhu4>50) {  
PORTD.4=1;
```

```
lcd_gotoxy(0,1);  
//lcd_puts("4.H");  
}  
else {  
PORTD.4=0;  
lcd_gotoxy(0,1);  
//lcd_puts("4.N");  
}  
if (suhu5>50) {  
PORTD.3=1;  
lcd_gotoxy(4,1);  
//lcd_puts("5.H");  
}  
else {  
PORTD.3=0;  
lcd_gotoxy(4,1);  
//lcd_puts("5.N");  
}  
if (suhu6>50) {  
PORTD.2=1;  
lcd_gotoxy(8,1);  
//lcd_puts("6.H");  
}  
else {  
PORTD.2=0;  
lcd_gotoxy(8,1);  
//lcd_puts("6.N");  
}  
if  
(suhu1>50||suhu2>50||suhu3>50||suhu  
4>50||suhu5>50||suhu6>50) {  
PORTB.0=1;  
}  
else {  
PORTB.0=0;  
}
```

Berdasarkan bahasa pemrograman diatas, LCD akan menampilkan data yang diperoleh dari perubahan tahanan yang terjadi pada sensor suhu LM35 berdasarkan pembacaan suhu kerja pengereman. Data tersebut kemudian diolah oleh

mikrokontroler untuk kemudian dapat mengaktifkan *warning lamp LED* dan *buzzer* sesuai dengan besarnya suhu yang telah diatur serta apabila terjadi *overheat* ($>50^{\circ}\text{C}$) yang terjadi pada masing-masing roda yang diaplikasikan oleh alat ini.

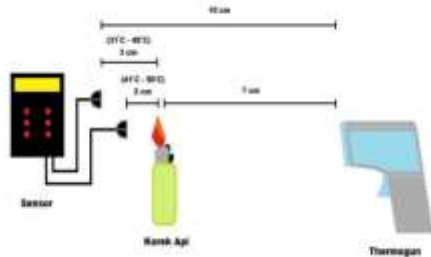
2.8 Kalibrasi alat

Kalibrasi alat dilakukan guna mencari nilai keakuratan dari sebuah rancang bangun. Media thermogun (bluegizmo BG 42) digunakan sebagai pembanding suhu dengan sensor yang dirancang.



Gambar 3 kalibrasi alat

Metode pengkalibrasian alat dilakukan dengan variasi jarak dan suhu. Pada kisaran suhu 31°C - 40°C diberikan perlakuan jarak 3cm dari sumber panas, sedangkan pada kisaran suhu 41°C - 50°C diberikan perlakuan jarak 2cm dari sumber panas. Jarak sumber panas dengan media *thermogun* dilakukan dengan perlakuan jarak 7cm tanpa dipengaruhi perubahan perlakuan suhu. Hal ini dijelaskan pada Gambar 4 :



Gambar 4 metode kalibrasi alat

Selanjutnya, kalibrasi dilakukan pada setiap sensor rancang bangun. Rancang bangun dilengkapi dengan enam sensor LM35. Perlakuan kalibrasi dilakukan mulai dari suhu 31°C (suhu normal) sampai dengan 50°C . Data

pengkalibrasian alat rancang bangun dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 kalibrasi alat berdasarkan suhu

No	Suhu Thermogun (ns)	Suhu Pada Sensor ($^{\circ}\text{C}$)					
		Sensor ke-					
		1	2	3	4	5	6
1.	31°C	30	30	29	29	30	29
2.	32°C	32	32	33	33	34	33
3.	33°C	33	34	34	33	33	32
4.	34°C	35	35	33	33	32	31
5.	35°C	33	34	33	33	33	32
6.	36°C	35	34	32	35	34	34
7.	37°C	33	34	33	35	34	34
8.	38°C	37	36	34	34	38	34
9.	39°C	35	42	36	38	38	37
10.	40°C	37	39	37	38	40	38
11.	41°C	37	41	36	42	39	38
12.	42°C	43	39	38	43	41	38
13.	43°C	42	41	40	43	42	42
14.	44°C	43	44	44	45	42	43
15.	45°C	44	44	45	42	41	39
16.	46°C	44	46	46	48	45	43
17.	47°C	43	43	44	44	42	45
18.	48°C	44	45	43	43	47	43
19.	49°C	53	49	45	45	52	53
20.	50°C	56	47	47	45	47	51

Data pada Tabel 1 dapat dilanjutkan untuk menentukan data akurasi sistem pengukuran suhu. Hal ini dilakukan guna menentukan nilai ketidakakuratan dan nilai keakuratan rancang bangun sistem.

Tabel 2 data akurasi sistem pengukuran suhu

No	Thermogun (ns)	Sistem (nt)	Ketidakkuratan $((ns-nt)/ns)*100\%$	Akurasi (100%-ketidakkuratan)
1.	31°C	29.5 °C	4%	96%
2.	32 °C	32 °C	0%	100%
3.	33 °C	33 °C	0%	100%
4.	34 °C	33 °C	2%	98%
5.	35 °C	33 °C	5%	95%
6.	36 °C	34 °C	5%	95%
7.	37 °C	34 °C	8%	92%
8.	38 °C	35.5 °C	6%	94%
9.	39 °C	38 °C	2%	98%
10.	40 °C	38 °C	5%	95%
11.	41 °C	39 °C	4%	96%
12.	42 °C	40 °C	4%	96%
13.	43 °C	42 °C	2%	98%
14.	44 °C	43.5 °C	1%	99%
15.	45 °C	42.5 °C	5%	95%
16.	46 °C	45 °C	2%	98%
17.	47 °C	43.5 °C	7%	93%
18.	48 °C	44 °C	8%	92%
19.	49 °C	49 °C	0%	100%
20.	50 °C	49 °C	2%	98%
Σ			3.6%	96.4%

Berdasarkan data pada Tabel 2, besar "Sistem" didapat dari data pada Table 1 dengan formulasi:

$$sistem = \frac{\sum_{sensor 1,2,3,4,5,6}}{6} \quad (1)$$

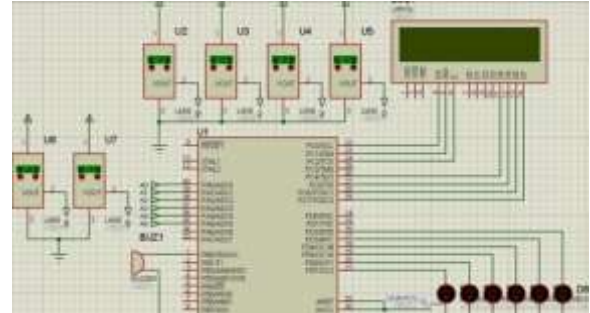
Jumlah dari perhitungan persentase nilai akurasi yang terdapat pada Table 2 menunjukkan nilai keakuratan alat sebesar 96.4%, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa data kalibrasi dengan menggunakan thermogun dianggap valid dan dapat digunakan pada penelitian ini.

2.9 Simulasi Program dan Alat

2.1.1 Kondisi rem dalam suhu normal

Dalam kondisi suhu rem normal, sensor akan memberikan informasi kepada mikrokontroler bahwa kondisi rem dalam keadaan aman.

Keadaan aman pada simulasi yang dilakukan dengan program proteus 7 dibuktikan dengan tidak menyalanya LED serta *buzzer* yang tidak berbunyi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 rangkaian simulasi suhu normal

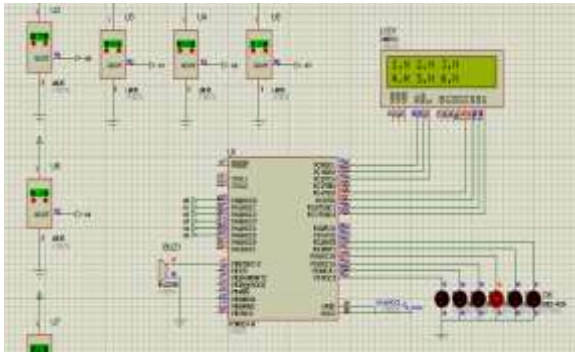
Kondisi *prototype* pada saat rem dalam kondisi suhu normal akan tetap menampilkan besar suhu pada LCD sesuai pada Gambar 6.



Gambar 6 *prototype* dalam suhu normal

2.1.2 Kondisi rem mengalami overheating

Ketika terjadi lonjakan suhu yang sudah melebihi dari batas maksimal yang telah diatur, sensor akan menyalakan *warning lamp* berupa LED dan juga *buzzer*. Pada sistem ini mikrokontroler diatur untuk mengaktifkan sistem peringatan dini apabila suhu rem mencapai $>50^{\circ}\text{C}$ yang setara dengan besarnya suhu 200°C pada pengereman sebenarnya. Simulasi yang dilakukan apabila sensor menerima lonjakan suhu $>50^{\circ}\text{C}$ akan menyalakan LED berwarna merah berbunyi *buzzer* sebagai tanda peringatan serta menampilkan hasil pembacaan suhu pada LCD. Sistem akan berhenti bekerja saat suhu rem kembali ke suhu normal.



Gambar 7 simulasi rangkaian

Kondisi *prototype* pada saat rem dalam kondisi suhu $>50^{\circ}\text{C}$ khususnya terjadi pada roda kanan sumbu kedua dibuktikan dengan menyalnya LED berwarna merah dan penampil besar suhu sesuai dengan pembacaan sensor. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 *prototype* dalam suhu $>50^{\circ}\text{C}$

3 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pembuatan rancang bangun sistem peringatan suhu pengereman berhasil mendeteksi suhu sesuai pembacaan sensor LM35 yang akan bekerja jika suhu mencapai 50°C setara dengan besaran suhu pada pengereman mencapai 200°C dengan skala 1 : 4. Peringatan dini akan menginformasikan kepada pengemudi dengan menggunakan buzzer dan LED pada saat pembacaan suhu maksimal sensor yang telah diatur dan ditentukan serta penampil suhu pada LCD. Kalibrasi alat dilakukan dengan menggunakan *thermogun* sebagai pembanding hasil pembacaan suhu dengan nilai keakurasian alat sebesar 96,4%.

4 Ucapan Terima Kasih

Penulis bersyukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga

penelitian ini dapat terlaksana. Penulis juga berterima kasih kepada PKTJ Tegal atas sarana dan prasarana yang menunjang penyempurnaan penelitian serta bapak Sigit Setijo Budi, S.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan kami dalam menyelesaikan penelitian.

5 Daftar Pustaka

- [1] http://gis.dephub.go.id/mapping/Statistik/Darat/Tabel_A_1_4_01.htm. [diakses pada 7 april 2015].
- [2] Jakarta, news.liputan6.com, Rem Blong, Bus Transjakarta Tabrak 4 Motor dan 4 Mobil, 22 Juni 2015 [diakses pada 6 september 2015].
- [3] Pasuruan, daerah.sindonews.com, Rem Blong Trailer Tabrak 5 Kendaraan, 4 Tewas, 24 Agustus 2015 [diakses pada 6 september 2015].
- [4] Cianjur, news.detik.com, Rem Bus Blong, Tabrakan Beruntun di Ciloto Cianjur Libatkan 10 Kendaraan, 26 Juli 2015 [diakses pada 6 september 2015].
- [5] S.I. Nyoman dan S. Bambang. 2010. Teknologi Otomotif. Edisi kedua. Surabaya: Penerbit Guna Widya.
- [6] Sukanto dan A.J. Bardi. Analisis Perpindahan Panas Kampas Rem pada Sepeda Motor: Jurnal teknik vol.3 No.1, April 2013.
- [7] D. Joni dan W. Andreas. Sistem Pendingin Paksa anti panas lebih (Over heating) pada rem cakram (disk brake) kendaraan: Jurnal teknik Mesin vol. 12, No. 2, 2010.
- [8] Rio, problem solving-mendeteksi panas pada rem, <http://www.otomotif.web.id/problem-solving-mendeteksi-a342.html>. [diakses pada 29 agustus 2015].
- [9] A. Heri, Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega, Yogyakarta: Penerbit Informatika. 2008.
- [10] W. Budiharto, Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATMega 16, Yogyakarta: Penerbit ELEX MEDIA. 2008.
- [11] I. Muhammad, K. Choliq, S.I. Riandy, P. Diah, N.L. Helena. Pengenalan Sensor Suhu Menggunakan LM35DZ Dan Therm200, Bogor: Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB.
- [12] R. Slamet, Sistem Pengukuran Suhu Minyak Goreng Berbasis Termokopel Tipe K, Yogyakarta: 2014.
- [13] D.F. Fuad, E. Yuyun dan H. Budi. Pemanfaatan serbuk tongkol jagung sebagai alternative bahan friksi kampas rem non-asbestos sepeda motor. <http://eprints.uns.ac.id/1337/1/1832-4127-1-SM.pdf> [diakses pada 2 November 2015]

Desain Sepatu Berpiezoelektrik Sebagai Sistem Pemanen Energi dari Aktivitas Berjalan Manusia

^{1,2}Reza Raditya Pratama, ^{1,2}Muhammad Faizal Sofyan & ^{1,2}Estiyanti Ekawati

¹Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

²Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

rezaraditya39@gmail.com, m.faizalsofyan@gmail.com, esti@instrument.itb.ac.id

Abstrak

Sepatu berpiezoelektrik merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan untuk memanfaatkan potensi aktivitas berjalan manusia sebagai sumber energi terbarukan. Sistem sepatu berpiezoelektrik pada studi ini terdiri dari integrasi antara konfigurasi piezoelektrik dengan konverter yang diletakkan di dalam sol sepatu. Studi ini telah melalui beberapa tahap desain dan tahap uji untuk memperoleh sistem yang tepat untuk memanen energi dari aktivitas berjalan manusia. Pada penelitian ini, diseleksi delapan desain konfigurasi piezoelektrik, dengan variasi tipe piezoelektrik, jenis dan ketebalan material *insole*, jenis konverter dan jenis kapasitor penyimpanan muatan listrik. Pemilihan desain dilaksanakan melalui beberapa tahap uji. Tahap uji tersebut meliputi uji langkah kaki, uji menggunakan *impact hammer*, dan uji konverter. Sistem terpilih berdasarkan tiga tahap uji tersebut terdiri dari konfigurasi piezoelektrik K7520BP2 dengan 3mm Eva-foam Angin sebagai *insole*, dan konverter MB39C811. Tegangan terukur pada kapasitor 10mF yaitu 1,65Volt ketika diberi masukan berfrekuensi 2Hz selama 20 menit sehingga total muatan listrik tersimpan yaitu 16,5mC.

Kata Kunci: sepatu berpiezoelektrik; sumber energi terbarukan; aktivitas berjalan manusia.

1 Pendahuluan

Dewasa ini, energi listrik merupakan kebutuhan pokok manusia untuk dapat melaksanakan aktivitas sehari-hari. Hal tersebut menyebabkan peningkatan konsumsi listrik setiap tahun. Di Indonesia, konsumsi listrik per kapita pada tahun 2011 mencapai 679,70kWh. Konsumsi listrik yang terus meningkat ini harus diimbangi dengan ketersediaan sumber energi listrik baru dan terbarukan.

Aktivitas manusia sehari-hari berpotensi menghasilkan daya yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Contohnya adalah aktivitas berjalan [1]. Fakta itu memicu penelitian mengenai bahan piezoelektrik sebagai modul pemanen energi yang memanfaatkan aktivitas manusia. Salah satunya adalah Zhao dan You [2], yang mengembangkan sepatu berpiezoelektrik untuk

menghasilkan energi listrik dari aktivitas berjalan manusia. Studi tersebut mengembangkan dua purwarupa sol sepatu berpiezoelektrik. Purwarupa pertama terbuat dari *multilayer* PVDF film dan struktur plastik yang dirancang untuk diletakkan di bawah tumit, sedangkan purwarupa kedua dirancang sebagai *insole* yang terbuat dari *flexible silicone rubber* dan dua *multilayer* PVDF film. Lebih banyak energi listrik yang dapat dihasilkan oleh purwarupa pertama, sedangkan purwarupa kedua lebih nyaman digunakan.

Paper ini melaporkan penelitian yang mengadaptasi pendekatan Zhou dan You [2] pada desain sol sepatu berpiezoelektrik yang terdiri dari konfigurasi piezoelektrik dan konverter yang dirancang untuk diletakkan pada bagian *midsole* di dalam sol sepatu, sehingga lebih nyaman dikenakan. Penelitian ini juga menggunakan bahan piezoelektrik PZT yang lebih ekonomis dibandingkan dengan PVDF. Namun untuk mengatasi sifat bahan PZT yang lebih rapuh, diperlukan konfigurasi material yang mampu melindungi bahan PZT agar bertahan lama.

Pada penelitian ini, dilakukan seleksi terhadap delapan buah desain sol, dengan pilihan variasi tipe piezoelektrik PZT (K7520BP2 dan audio generik), jenis dan ketebalan material penyusun sol (Eva-foam Angin dan Eva-foam Keras), jenis konverter (MB39C811 dan LTC3588-1), serta jenis kapasitor sebagai media penyimpanan (kapasitansi 0,1mF, 1mF, dan 10mF). Pemilihan desain dilaksanakan melalui beberapa tahap uji. Tahap uji tersebut meliputi uji langkah kaki, uji pukul menggunakan *impact hammer*, dan uji efisiensi konverter.

2 Metode Perancangan

Umumnya, piezoelektrik bermaterial PVDF lebih sering diaplikasikan untuk memanfaatkan potensi aktivitas berjalan manusia pada sepatu berpiezoelektrik karena fleksibilitasnya, tetapi piezoelektrik yang digunakan pada studi ini yaitu piezoelektrik berbahan PZT karena lebih mudah

didapatkan. Piezoelektrik berbahan PZT lebih kaku dan lebih mudah patah, sehingga diperlukan konfigurasi untuk mengatasi sifat tersebut tetapi tetap mampu memanfaatkan potensi aktivitas berjalan manusia sebagai sumber energi terbarukan.

Konfigurasi yang dirancang pada studi ini, adalah konfigurasi piezoelektrik yang diletakkan pada bagian *midsole* di dalam sol sepatu. Konfigurasi tersebut dilengkapi dengan *push button* pada bagian atas piezoelektrik sehingga tekanan ketika pengguna berjalan lebih terpusat pada bagian tengah piezoelektrik. *Push button* yang digunakan pada konfigurasi piezoelektrik terbuat dari material *insole* yang merupakan salah satu material penyusun struktur sol sepatu.

Terdapat dua tipe piezoelektrik yang diseleksi untuk digunakan, yaitu piezoelektrik pemanen energi K7520BP2 dan piezoelektrik audio generik. Terdapat pula beberapa jenis material yang diseleksi untuk digunakan sebagai material penyusun struktur sol sepatu, seperti pada Tabel 1. Pengaruh ketebalan material penyusun bagian *insole* akan diuji untuk menentukan konfigurasi piezoelektrik terbaik dan yang paling tepat untuk memanen energi dari aktivitas berjalan manusia.

Konfigurasi piezoelektrik terbaik ditentukan melalui uji langkah kaki dan uji menggunakan *impact hammer*. Setelah konfigurasi piezoelektrik telah ditentukan, sistem sepatu berpiezoelektrik yang mengintegrasikan konfigurasi piezoelektrik terbaik dengan konverter diuji performanya melalui uji konverter. Sistem berkinerja terbaik dipilih sebagai sistem yang paling tepat untuk memanfaatkan potensi aktivitas berjalan manusia sebagai sumber energi terbarukan pada penelitian ini.

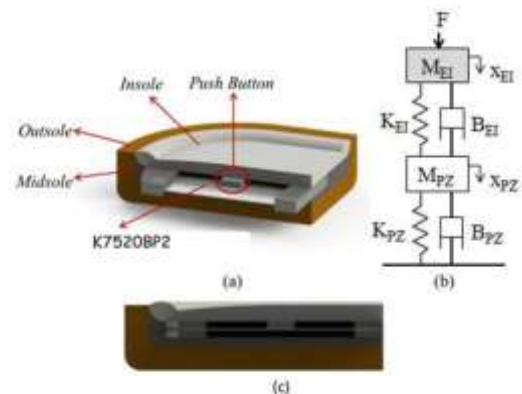
2.1 Konfigurasi Piezoelektrik

Pada studi ini, dua tipe piezoelektrik (K7520BP2 dan audio generik) dan dua jenis material penyusun *insole* dengan ketebalan yang divariasikan merupakan materi penyusun konfigurasi piezoelektrik di dalam sol sepatu. Desain konfigurasi piezoelektrik dengan dua tipe piezoelektrik yang berbeda disesuaikan dengan tipe piezoelektrik tersebut, sedangkan desain struktur sol ditetapkan berdasarkan struktur sol sepatu konvensional yang terdiri dari tiga lapisan sol sepatu, yaitu *insole*, *midsole*, dan *outsole*.

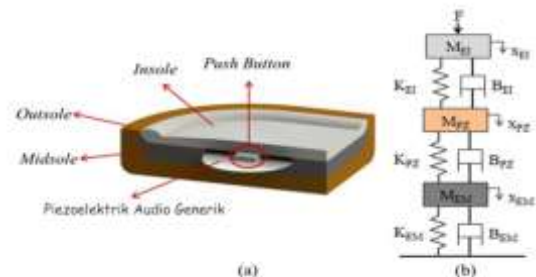
Konfigurasi piezoelektrik diletakkan pada bagian tumit sepatu berpiezoelektrik untuk memperoleh gaya maksimal dari aktivitas berjalan manusia [3]. Setiap konfigurasi piezoelektrik dilengkapi dengan *push button* berukuran 1mm x 1mm x 3mm pada bagian atas piezoelektrik.

Tabel 1 Spesifikasi Struktur Sol Sepatu Berpiezoelektrik

Struktur Sol	Jenis Sol	Ketebalan
<i>Insole</i>	Eva-foam Angin atau Eva-foam Keras	3mm atau 6mm
<i>Midsole</i>	Eva-foam Keras	10mm
<i>Outsole</i>	Sol Karet	12mm



Gambar 1 (a) Susunan Bahan Konfigurasi K7520BP2 (b) Skema Konfigurasi K7520BP2 (c) Tampak Samping Konfigurasi K7520BP2



Gambar 2 (a) Konfigurasi Bahan Konfigurasi Piezoelektrik Audio Generik (b) Skema Konfigurasi Piezoelektrik Audio Generik

Masing-masing konfigurasi diilustrasikan oleh Gambar 1 (konfigurasi K7520BP2) dan Gambar 2 (konfigurasi audio generik). Pada konfigurasi K7520BP2, piezoelektrik K7520BP2 dijepit dengan akrilik pada kedua ujungnya serta ditambahkan ruang kosong di bawah piezoelektrik K7520BP2 untuk memaksimalkan defleksi pada piezoelektrik.

Pada konfigurasi piezoelektrik audio generik, tidak terdapat ruang kosong di bawah piezoelektrik karena piezoelektrik tipe ini membutuhkan bantalan untuk membantunya kembali ke posisi semula setelah terdefleksi.

Skema konfigurasi piezoelektrik pada Gambar 1 (b) dan Gambar 2 (b) menunjukkan penambahan massa *insole* (M_{EI}) akan mengurangi efek dari gaya yang diberikan manusia ketika berjalan. Elastisitas material *insole* juga akan memengaruhi defleksi pada piezoelektrik. Defleksi pada piezoelektrik berkurang ketika nilai konstanta pegas material *insole* (K_{EI}) semakin besar.

Kontribusi parameter-parameter yang terlibat pada proses terdefleksinya piezoelektrik oleh persamaan 1 (konfigurasi K7520BP2) dan persamaan 2 (konfigurasi audio generik) yang didasarkan pada pemodelan piezoelektrik sebagai akselerometer [4]. Arti parameter yang ditampilkan pada persamaan 1 dan persamaan 2 dapat diikuti pada nomenklatur.

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_{EI} \\ \ddot{x}_{EI} \\ \ddot{x}_{PZ} \\ \ddot{x}_{PZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{-K_{EI}}{M_{EI}} & \frac{-B_{EI}}{M_{EI}} & \frac{K_{EI}}{M_{EI}} & \frac{B_{EI}}{M_{EI}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{K_{EI}}{M_{PZ}} & \frac{B_{EI}}{M_{PZ}} & \frac{-K_{EI} - K_{PZ}}{M_{PZ}} & \frac{-B_{EI} - B_{PZ}}{M_{PZ}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{EI} \\ \dot{x}_{EI} \\ x_{PZ} \\ \dot{x}_{PZ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} F \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_{EI} \\ \ddot{x}_{EI} \\ \ddot{x}_{PZ} \\ \ddot{x}_{PZ} \\ \ddot{x}_{EI} \\ \ddot{x}_{EI} \\ \ddot{x}_{PZ} \\ \ddot{x}_{PZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-K_{EI}}{M_{EI}} & \frac{-B_{EI}}{M_{EI}} & \frac{K_{EI}}{M_{EI}} & \frac{B_{EI}}{M_{EI}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{K_{EI}}{M_{PZ}} & \frac{B_{EI}}{M_{PZ}} & \frac{-K_{EI} - K_{PZ}}{M_{PZ}} & \frac{-B_{EI} - B_{PZ}}{M_{PZ}} & \frac{K_{PZ}}{M_{PZ}} & \frac{B_{PZ}}{M_{PZ}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{EI}}{M_{EI}} & \frac{B_{EI}}{M_{EI}} & \frac{-K_{EI} - K_{PZ}}{M_{PZ}} & \frac{-B_{EI} - B_{PZ}}{M_{PZ}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{PZ}}{M_{PZ}} & \frac{B_{PZ}}{M_{PZ}} & \frac{-K_{PZ} - K_{EI}}{M_{EI}} & \frac{-B_{PZ} - B_{EI}}{M_{EI}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{EI} \\ \dot{x}_{EI} \\ x_{PZ} \\ \dot{x}_{PZ} \\ x_{EI} \\ \dot{x}_{EI} \\ x_{PZ} \\ \dot{x}_{PZ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} F \quad (2)$$

Terdapat delapan buah desain konfigurasi piezoelektrik dengan variasi pada jenis dan ketebalan *insole* yang ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2 Pilihan Desain Konfigurasi Piezoelektrik

Nomor Konfigurasi	Tipe Piezoelektrik	Jenis <i>Insole</i>	Tebal <i>Insole</i>
1	K7520BP2	Eva-foam Angin	3mm
2			6mm
3		Eva-foam Keras	3mm
4			6mm
5	Piezoelektrik Audio Generik	Eva-foam Angin	3mm
6			6mm
7		Eva-foam Keras	3mm
8			6mm

Konfigurasi piezoelektrik tersebut diseleksi melalui dua tahap uji untuk membuktikan hipotesis yang didasarkan pada persamaan 1 dan persamaan 2.

2.2 Pengujian

Pengujian diawali dengan uji langkah kaki yang bertujuan untuk mengetahui tegangan listrik yang dihasilkan oleh konfigurasi uji ketika diberikan gaya berupa pijakan kaki manusia dengan berat 65kg (Gambar 3). Konfigurasi piezoelektrik yang diletakkan pada bagian *midsole* di dalam sol sepatu dihubungkan pada osiloskop digital sehingga terukur tegangan keluaran konfigurasi piezoelektrik ketika penguji melangkahakan kakinya.



Gambar 3 Pelaksanaan Uji Langkah Kaki



Gambar 4 Pelaksanaan Uji Menggunakan *Impact Hammer*



Gambar 5 Pelaksanaan Uji Konverter

Pengujian tahap kedua adalah uji pukul menggunakan *impact hammer* yang bertujuan untuk mengukur tegangan listrik yang dihasilkan oleh konfigurasi uji ketika diberikan gaya oleh *impact hammer* (Gambar 4). Pada percobaan tahap kedua, baik konfigurasi uji maupun *impact*

hammer terhubung dengan osiloskop digital sehingga baik tegangan keluaran konfigurasi piezoelektrik maupun gaya yang diberikan oleh *impact hammer* dapat diukur. Gaya *impact hammer* diukur dengan cara mengalikan tegangan keluaran *impact hammer* ketika dipukulkan dengan nilai sensitivitas instrumen tersebut.

Pengujian tahap ketiga adalah uji konverter yang bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan listrik yang dihasilkan oleh kapasitor setelah menampung muatan listrik dari sistem sepatu berpiezoelektrik (Gambar 5). Sistem sepatu berpiezoelektrik merupakan integrasi dari konfigurasi piezoelektrik yang memiliki tegangan keluaran terbaik berdasarkan hasil uji menggunakan *impact hammer* dengan konverter. Pada pengujian ini, sistem sepatu berpiezoelektrik yang terhubung dengan kapasitor dipukul dengan frekuensi yang disesuaikan dengan langkah cepat manusia oleh *impact hammer* selama periode waktu tertentu. Pada waktu yang sama dengan pemberian gaya *impact hammer* pada sistem sepatu berpiezoelektrik, tegangan pada kapasitor diukur setiap 10 detik.

3 Hasil dan Diskusi

Realisasi masing-masing konfigurasi piezoelektrik ditunjukkan pada Gambar 6 (konfigurasi K7520BP2) dan Gambar 7 (konfigurasi audio generik).



Gambar 6 Realisasi Konfigurasi K7520BP2 (a) Konstruksi K7520BP2 (b) Konfigurasi K7520BP2 di dalam Sol



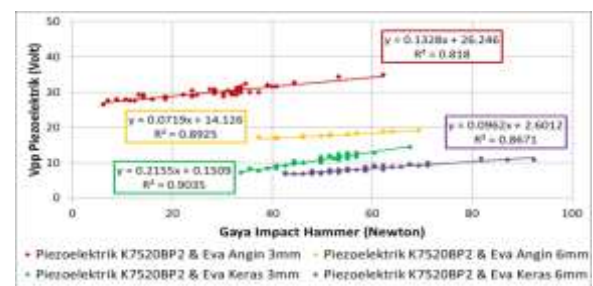
Gambar 7 Realisasi Konfigurasi Piezoelektrik Audio Generik (a) Tampak Atas (b) Tampak Samping

Berdasarkan data uji langkah kaki pada Tabel 3, penambahan ketebalan *insole*, yang sebanding dengan penambahan massa *insole* (M_{EI}), berpengaruh pada tegangan keluaran konfigurasi piezoelektrik. Konfigurasi piezoelektrik nomor 1 sampai 6 menunjukkan penambahan ketebalan

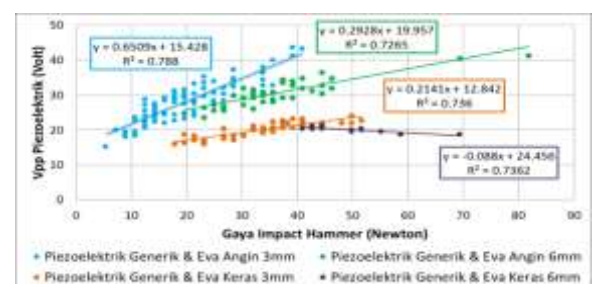
material *insole* mengurangi tegangan keluaran konfigurasi piezoelektrik, dengan perkecualian pada konfigurasi piezoelektrik audio generik dengan *insole* jenis Eva-foam Keras.

Tabel 3 Data Uji Langkah Kaki

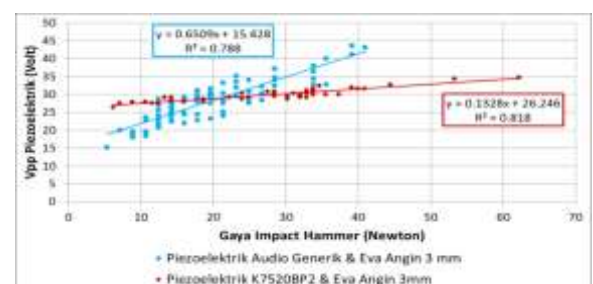
Nomor Konfigurasi	Tegangan Keluaran (Volt)		
	Min	Maks	Rata-rata
1	15,60	35,60	26,40
2	10,40	20,40	16,52
3	14,00	19,20	16,32
4	8,80	18,40	12,17
5	6,00	30,40	15,11
6	8,00	18,00	12,05
7	10,40	24,00	16,21
8	14,40	32,00	23,53



(a)



(b)



(c)

Gambar 8 Hasil Uji *Impact Hammer* (a) Tegangan Listrik Keluaran K7520BP2 (b) Tegangan Keluaran

Piezoelektrik Audio Generik (c) Perbandingan Tegangan Keluaran antar Dua Tipe Piezoelektrik

Berdasarkan uji *impact hammer*, penambahan ketebalan *insole* dan variasi jenis material *insole* berpengaruh terhadap tegangan keluaran konfigurasi piezoelektrik. Variasi jenis material *insole* menentukan parameter massa *insole* (M_{EI}) dan parameter konstanta pegas *insole* (K_{EI}). Nilai konstanta pegas material yang lebih besar mengindikasikan bahwa material yang digunakan lebih kaku. Gambar 8 (a) dan (b) menunjukkan tegangan listrik yang dihasilkan konfigurasi dengan *insole* Eva-foam Angin bernilai lebih besar dibandingkan tegangan listrik yang dihasilkan pada konfigurasi dengan *insole* Eva-foam Keras. Konfigurasi nomor 1 (piezoelektrik K7520BP2 dengan *insole* Eva-foam Angin dan ketebalan 3 mm) dan konfigurasi nomor 5 (piezoelektrik audio generik dengan *insole* berjenis Eva-foam Angin dan ketebalan 3 mm) menghasilkan tegangan listrik terbesar. Ketika tegangan keluaran konfigurasi piezoelektrik nomor 1 dan 5 dibandingkan (Gambar 8 (c)), tegangan listrik yang dihasilkan konfigurasi nomor 1 lebih konsisten pada rentang pemberian gaya *impact hammer*.

Pada pelaksanaan uji konverter, terdapat lima konfigurasi yang menggabungkan piezoelektrik, yang menghasilkan tegangan keluaran terbaik berdasarkan hasil uji *impact hammer*, dengan konverter sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.

Tabel 4 Variasi Sistem Sepatu Berpiezoelektrik

Sistem Sepatu Berpiezoelektrik	Nomor Konfigurasi	Jenis Konverter
A	1	LTC 3588-1
B		MB39C811
C	5	LTC 3588-1
D		MB39C811
E	1*	MB39C811

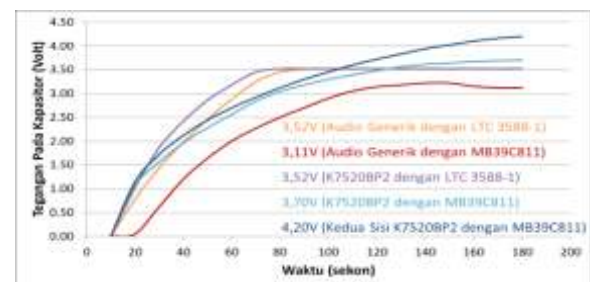
Sistem sepatu berpiezoelektrik E menggunakan konfigurasi piezoelektrik nomor 1 termodifikasi. Konfigurasi nomor 1 hanya memanfaatkan satu sisi piezoelektrik K7520BP2 sebagai masukan konverter MB39C811, sedangkan konfigurasi nomor 1 termodifikasi memanfaatkan kedua sisi piezoelektrik K7520BP2 sebagai masukan untuk konverter MB39C811.

Setiap sistem menghasilkan tegangan terukur berbeda pada kapasitor 0,1mF setelah 180 detik. Berdasarkan Gambar 9 (a), tegangan terukur pada kapasitor 0,1mF terbesar didapatkan dari sistem sepatu berpiezoelektrik E sehingga sistem tersebut ditetapkan sebagai sistem sepatu berpiezoelektrik

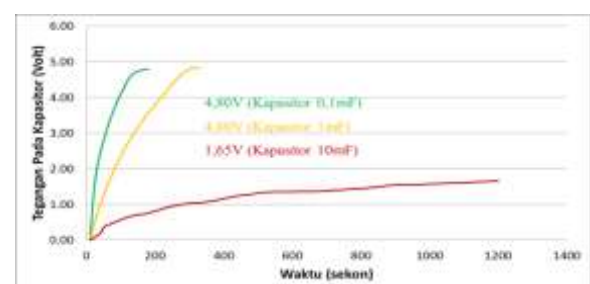
berperforma terbaik yang paling tepat untuk memanen energi dari aktivitas berjalan manusia.

Performa sistem sepatu berpiezoelektrik terpilih kemudian diuji dengan cara dihubungkan dengan kapasitor yang nilai kapasitansinya divariasikan. Pengujian ini menghasilkan tegangan terukur pada kapasitor 0,1mF sebesar 4,80Volt setelah 180 detik; tegangan terukur pada kapasitor 1mF mencapai 4,80Volt setelah 300 detik; dan tegangan terukur pada kapasitor 10mF mencapai 1,65Volt setelah 20 menit. Hal tersebut konsisten dengan prinsip kerja kapasitor, yaitu kapasitor berkapasitansi besar membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai tegangan terukur tertentu ketika dibandingkan dengan kapasitor berkapasitansi lebih kecil.

Karena itu, sistem sepatu berpiezoelektrik yang dipilih yaitu sistem dengan kapasitor berkapasitansi 10mF karena kapasitor berkapasitansi besar mampu menyimpan muatan lebih besar. Sistem sepatu berpiezoelektrik tersebut mampu menyimpan muatan listrik sebesar 16,5mC ketika mendapat masukan berfrekuensi 2Hz selama 20 menit yang setara dengan 2400 langkah kaki manusia.



(a)



(b)

Gambar 9 Hasil Uji Konverter (a) Tegangan Terukur Pada Kapasitor 0,1mF untuk Setiap Sistem (b) Tegangan Terukur Pada Kapasitor Ketika Mendapat Tegangan Masukan dari Konfigurasi Piezoelektrik K7520BP2 yang Memanfaatkan Kedua Sisinya Sebagai Masukan untuk Konverter MB39C811 dengan Insole Berjenis Eva-foam Angin dan Tebal 3mm.

4 Kesimpulan

Sistem sepatu berpiezoelektrik yang terdiri dari integrasi konfigurasi piezoelektrik K7520BP2, yang memanfaatkan kedua sisinya sebagai masukan untuk konverter MB39C811 dengan *insole* berjenis Eva-foam Angin dan tebal 3mm telah didesain pada studi ini. Sistem tersebut dipilih sebagai sistem berperforma terbaik serta yang paling tepat untuk memanen energi dari aktivitas berjalan manusia karena kemampuannya untuk menyimpan muatan listrik sebesar 16,5mC pada kapasitor 10mF ketika mendapat masukan berfrekuensi 2Hz selama 20 menit yang setara dengan 2400 langkah kaki manusia.

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Program Kreativitas Mahasiswa 2015 Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membantu pendanaan penelitian ini.

6 Nomenklatur

B_{EI}	=	konstanta redaman <i>insole</i>
B_{EM}	=	konstanta redaman <i>midsole</i>
B_{PZ}	=	konstanta redaman piezoelektrik
F	=	Gaya
K_{EI}	=	konstanta pegas <i>insole</i>
K_{EM}	=	konstanta pegas <i>midsole</i>
K_{PZ}	=	konstanta pegas piezoelektrik

M_{EI}	=	massa <i>insole</i>
M_{EM}	=	massa <i>midsole</i>
M_{PZ}	=	massa piezoelektrik
X_{EI}	=	defleksi pada <i>insole</i>
X_{EM}	=	defleksi pada <i>midsole</i>
X_{PZ}	=	defleksi pada piezoelektrik
$\dot{X}_{EI}$	=	diferensiasi defleksi pada <i>insole</i> terhadap waktu
$\dot{X}_{EM}$	=	diferensiasi defleksi pada <i>midsole</i> terhadap waktu
$\dot{X}_{PZ}$	=	diferensiasi defleksi pada piezoelektrik terhadap waktu
$\ddot{X}_{EI}$	=	diferensiasi $\dot{X}_{EI}$ terhadap waktu
$\ddot{X}_{EM}$	=	diferensiasi $\dot{X}_{EM}$ terhadap waktu
$\ddot{X}_{PZ}$	=	diferensiasi $\dot{X}_{PZ}$ terhadap waktu

7 Daftar Pustaka

- [1] T. Starner, "Human-powered wearable computing," IBM Syst. J., vol. 35, no. 3.4, pp. 618-629, 1996.
- [2] J. Zhao and Z. You, "A shoe-embedded piezoelectric energy harvester for wearable sensors," Sensors, vol. 14, no. 7, pp. 12497-12510, 2014. (references)
- [3] D. Lieberman, M. Venkadesan, A. I. Daoud, and W. A. Werbel, "Biomechanics of Foot Strikes and Applications to Running Barefoot or in Minimal Footwear," Harv. Univ., 2010., in press.
- [4] K. Ogata and Y. Yang, Modern Control Engineering 5th Edition, Prentice Hall, 2010.

Identifikasi Sistem Temperatur Air Uman Deaerator pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Apolonius A. Hariyatma^{*)}, Awang N. I. Wardana & Ester Wijayanti

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

^{*)}apolonius.adhi@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Dinamika karakteristik temperatur air umpan pada *deaerator* di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) perlu dipahami untuk mengetahui bagaimana sistem tersebut bekerja. *Deaerator* merupakan tempat penghilangan kadar oksigen. Oksigen dapat menyebabkan korosi pada peralatan logam seperti *boiler*. Penghilangan kadar oksigen dilakukan dengan proses pemanasan air kondensat menggunakan uap ekstraksi turbin. Berdasarkan sifat oksigen yang kelarutannya akan berkurang karena kenaikan temperatur maka kadar oksigen pada *deaerator* akan berkurang. Salah satu cara mengetahui karakteristik temperatur air umpan yaitu dapat berasal dari model matematis. Salah satu metode mendapatkan model matematis yaitu identifikasi sistem. Identifikasi sistem melakukan estimasi parameter berdasarkan data variabel proses *input* dan *output* pada *deaerator*. Identifikasi sistem dalam penelitian ini menggunakan identifikasi struktur model *Auto Regressive Moving Average eXogonus input (ARMAX) Multi Input Single Output*. Hasil dari penelitian ini didapatkan model matematis temperatur air umpan dengan kriteria nilai MSE sebesar $1,70 \times 10^{-3}$ K dan nilai Fit sebesar 83,047 %.

Kata Kunci: *Deaerator, PLTU, Temperatur Air Uman, Identifikasi Sistem, ARMAX.*

1 Pendahuluan

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara, semua parameter dari peralatan yang saling berkaitan harus berjalan dengan optimal. Pada PLTU terdapat sistem pemanas air umpan. Sistem pemanas air umpan berfungsi sebagai pemanas awal air umpan sebelum diumpungkan ke *boiler* untuk menjadi *main steam*. Sistem pemanas air umpan memanaskan air kondensat yang berasal dari kondenser menggunakan uap ekstraksi dari turbin. Secara umum sistem pemanas air umpan terdiri dari *close feedwater heater* dan *open feedwater heater*. Umumnya *close feedwater heater* merupakan *heat exchanger shell and tube*, dan *open feedwater heater* merupakan *deaerator*.

Deaerator merupakan peralatan penting dalam sistem pemanas air umpan pada PLTU. *Deaerator* merupakan tempat penghilangan kadar oksigen. Oksigen dapat menyebabkan korosi pada peralatan logam seperti *boiler*. Penghilangan kadar oksigen dilakukan berdasarkan proses deaerasi.

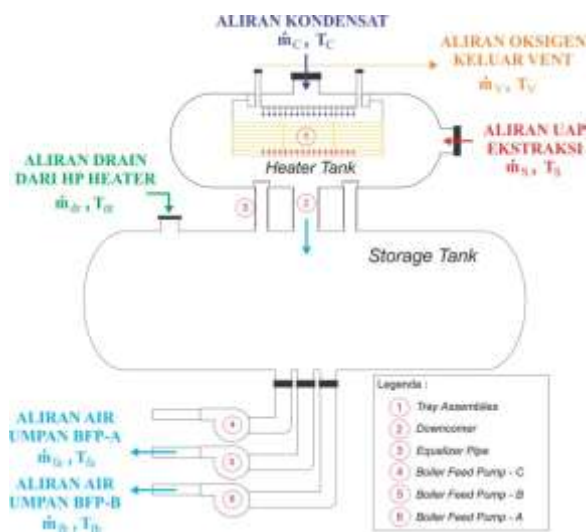
Prinsip dari deaerasi dapat dijelaskan dengan menggunakan hukum Henry. Secara ringkas, hukum tersebut menyatakan bahwa penghilangan oksigen dan karbon dioksida dapat disempurnakan dengan pemanasan air umpan, yang akan menurunkan tekanan parsial oksigen dan karbon dioksida. Berdasarkan sifat oksigen yang kelarutannya akan berkurang karena kenaikan temperatur tersebut maka kadar oksigen pada *deaerator* akan berkurang. Sehingga temperatur air umpan merupakan variabel yang harus dijaga. Salah satu cara mengetahui karakteristik hubungan *input-output* pada suatu proses yaitu dengan memahami model matematis sistem tersebut [1]. Model matematis tersebut dapat dijadikan acuan model untuk membuat suatu simulasi proses untuk mengetahui pengaruh faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik peralatan tersebut dan memahami karakteristik dinamika temperatur air umpan.

Makalah ini merupakan bagian dari penelitian mengenai pemodelan matematis dan identifikasi sistem dinamika temperatur dan level air umpan pada *deaerator* [2]. Dalam penelitian tersebut, metode untuk memodelkan sistem *deaerator* sudah banyak dilakukan antara lain pemodelan matematis dan identifikasi sistem. Model matematis dalam identifikasi sistem didapatkan berdasarkan estimasi dari data *input-output* pada sistem tersebut. Yuri A.W [3] telah melakukan penelitian identifikasi sistem menggunakan model *Auto Regressive Moving Average eXogonus input (ARMAX)* berdasarkan data operasi. Khalled Elleuch [4] telah melakukan identifikasi sistem pada proses *heat transfer*. Gevers [5] dan Junainah Jahaya [6] dalam penelitiannya menyebutkan bahwa struktur identifikasi sistem yang baik untuk suatu sistem *multi input single output* adalah *Auto Regressive Moving Average eXogonus input (ARMAX)*. Pada umumnya identifikasi sistem model ARMAX adalah suatu model yang menggambarkan model linier. Dalam penelitian Junainah Jahaya [6] dan Khalled Elleuch [4] memberikan paparan kriteria validasi identifikasi sistem adalah nilai FIT, VAF (*Varaince Accounted For*), MSE (*Mean Square Error*), dan FPE (*Final Prediction Error*).

Makalah ini bertujuan untuk mendapatkan model matematis temperatur air umpan menggunakan identifikasi sistem *Auto Regressive Moving Average eXogenous input (ARMAX)* [3,5,6]. Model matematis ini akan divalidasi menggunakan data operasi atau data *process variable* (PV). Kriteria validasi yang digunakan adalah nilai FIT dan MSE [4,6].

2 Diskusi

Struktur dan skema *deaerator* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 10 struktur dan skema *deaerator* [2]

Pada Gambar 1, *deaerator* dibagi menjadi dua tangki yang saling berhubungan yaitu *heater tank* dan *storage tank*. Pada *heater tank* terjadi proses perpindahan panas atau deaerasi antara uap ekstraksi turbin dan kondensat pada tumpukan tray. Laju aliran kondensat akan disemprotkan melalui *spray nozzle* pada *heater tank* menjadi butiran-butiran air (*droplet*) dengan diameter sebesar 300-2800 mm [7]. Butiran-butiran air ini akan menyempurnakan proses perpindahan panas antara uap ekstraksi dengan aliran kondensat. Butiran-butiran air akan jatuh ke dalam lubang pada *tray assembly* sehingga kontak langsung secara berlawanan arah dengan uap ekstraksi. Pada *deaerator*, *tray assembly* ini tersusun secara bertingkat vertikal dan horisontal. *Storage tank* digunakan untuk menampung air umpan dan tidak terjadi proses perpindahan panas. Kedua tangki ini dihubungkan dengan *downcomer pipe* yang menyalurkan air umpan dari *heater tank* ke *storage tank*. Sedangkan *equalizer pipes* digunakan untuk menyeimbangkan tekanan antara kedua tangki.

Masukan pada *heater tank* antara lain adalah laju aliran kondensat ($\dot{m}_c$) dan laju aliran uap ekstraksi turbin ($\dot{m}_s$). Sedangkan keluaran pada *heater tank* antara lain laju aliran oksigen keluar vent ($\dot{m}_v$) dan laju aliran massa air umpan ke *storage tank*. Masukan pada *storage tank* antara lain laju aliran massa air umpan dari *heater tank* dan laju aliran *drain* dari *HP Heater*, sedangkan keluaran pada *storage tank* adalah laju aliran massa air umpan melalui *boiler feed pump-A* ($\dot{m}_{fa}$) dan laju aliran air umpan melalui *boiler feed pump-B* ($\dot{m}_{fb}$). *Boiler feed pump-C* tidak dinyalakan dan berfungsi sebagai pompa *standby*.

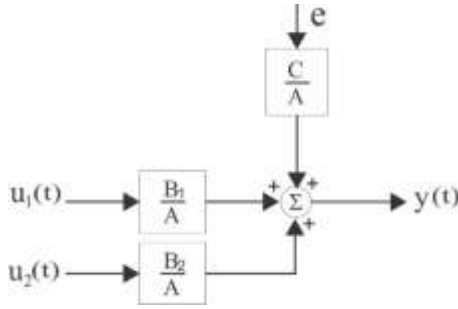
Batasan masalah pada makalah ini adalah data *input deaerator* yang digunakan untuk identifikasi sistem adalah laju aliran massa kondensat dan temperatur uap ekstraksi dengan *output* temperatur air umpan dikarenakan dinamika temperatur terjadi pada *output heater tank*.

2.1 Identifikasi Sistem

Pada umumnya identifikasi sistem digunakan karena kurangnya pengetahuan tentang karakteristik fisik dari sistem yang diselidiki. Untuk melaksanakan proses identifikasi sistem diperlukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pengambilan data *input-output*
2. Pengolahan data *input-output*
3. Menentukan struktur model
4. Estimasi parameter
5. Validasi model

Pada identifikasi sistem, langkah awal yang dilakukan adalah pengambilan data *input-output* yaitu data operasi atau *process variable* (PV). Selanjutnya data *input* dan *output* yang dapat dipakai dalam identifikasi sistem adalah data yang sudah direratakan nol atau *mean zero*. Salah satu struktur model identifikasi sistem adalah *Auto Regressive Moving Average eXogeneous input (ARMAX)* [3,5,6]. AR mendefinisikan bahwa *output* pada saat $t - 1, \dots, t - n$. MA mendefinisikan pemodelan *noise* yang masuk ke sistem, dan X mendefinisikan bahwa sistem tidak hanya bergantung pada *input* pada saat t , tetapi juga *input* pada saat $t - 1, \dots, t - n$. Metode identifikasi sistem ARMAX dalam penelitian ini untuk identifikasi sistem temperatur air umpan pada *deaerator* menggunakan tools pada SCILAB. Blok diagram model ARMAX *Multi Input Single Output* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 11 blok digaram model ARMAX MISO [6]

Persamaan dari model ARMAX dua *input* dan satu *output* ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$A(q^{-1})y(t) = B_1(q^{-1})u_1(t) + B_2(q^{-1})u_2(t) + C(q^{-1})e(t) \quad (1)$$

Dimana,

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1(q^{-1}) + \dots + a_m(q^{-m}) \quad (2)$$

$$B_1(q^{-1}) = b_0 + b_1(q^{-1}) + \dots + b_n(q^{-n}) \quad (3)$$

$$B_2(q^{-1}) = b_0 + b_1(q^{-1}) + \dots + b_n(q^{-o}) \quad (4)$$

$$C(q^{-1}) = 1 + c_1(q^{-1}) + \dots + c_p(q^{-p}) \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan 1, $y(t)$ adalah *output*, $u(t)$ adalah *input*, $e(t)$ merupakan model *noise* yang masuk ke sistem. Pada persamaan 2, a merupakan konstanta model A , dan m merupakan orde model A . Pada persamaan 3, b merupakan konstanta model B , dan n dan o merupakan orde model A . Pada persamaan 5, c merupakan konstanta model C , dan p merupakan orde model C . $q^{-i}y(t)$ merupakan *backwards operation* yaitu $q^{-i}y(t) = y(t - i)$.

2.2 Metode Recursive Least Square

Metode yang digunakan dalam identifikasi sistem ARMAX adalah metode *Recursive Least Square*. *Recursive Least Square* mengartikan bahwa estimasi parameter tidak hanya bergantung pada data ke- t tetapi bergantung pada $t - 1$. . . $t - n$ sehingga perhitungan parameter estimasi pertama dipakai dalam perhitungan data kedua, dan seterusnya. Fungsi estimasi parameter ditunjukkan pada Persamaan 7 [1].

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t - 1) + \hat{P}(t) \times \varphi(t) \times [y(t) - \varphi^T(t) \times \hat{\theta}(t - 1)] \quad (7)$$

Berdasarkan Persamaan 7, $\hat{P}(t)$ adalah matriks *covariance* yang ditunjukkan pada Persamaan 8 [1].

$$\hat{P}(t) = \left[\hat{P}(t - 1) - \frac{\hat{P}(t-1) \times \varphi(t) \times \varphi^T(t) \times \hat{P}(t-1)}{1 + \varphi^T(t) \times \hat{P}(t-1) \times \varphi(t)} \right] \quad (6)$$

Berdasarkan Persamaan 8, $\varphi(t)$ adalah konstanta estimasi parameter yang merepresentasikan data *input* dan *output* yang digunakan dalam perhitungan *recursive*. Sedangkan $\varphi^T(t)$ adalah *transpose* dari matriks $\varphi(t)$. Fungsi dari $\varphi(t)$ ditunjukkan pada Persamaan 9.

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} -y(t - na : t - 1)^T \\ u_1(t - nb_1 - nk : t - nk)^T \\ u_2(t - nb_2 - nk : t - nk)^T \\ eps(n - nc + 1 : n)^T \end{bmatrix} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan 7, y adalah data *output*, u adalah data *input*. na adalah orde polinomial model A , nb adalah orde polinomial model B , nc adalah orde polinomial model C , nk adalah *data shifting*, dan n adalah banyaknya data perhitungan. Orde polinomial yang digunakan dalam estimasi parameter model ARMAX adalah $na = 1$, $nb = 1$, $nb2 = 1$, $nc = 1$. Sedangkan eps adalah *error prediction* dari model *noise* pada ARMAX yang ditunjukkan ditunjukkan pada Persamaan 10 [1].

$$eps(t) = [y(t) - \varphi^T(t) \times \hat{\theta}(t - 1)] \quad (8)$$

Kriteria validasi yang digunakan adalah nilai Fit dan MSE. Persamaan MSE ditunjukkan pada persamaan 11 [5,6].

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y(k) - \hat{y}(k))^2 \quad (9)$$

Sedangkan persamaan Fit atau kesesuaian kurva ditunjukkan pada persamaan 10 [5,6].

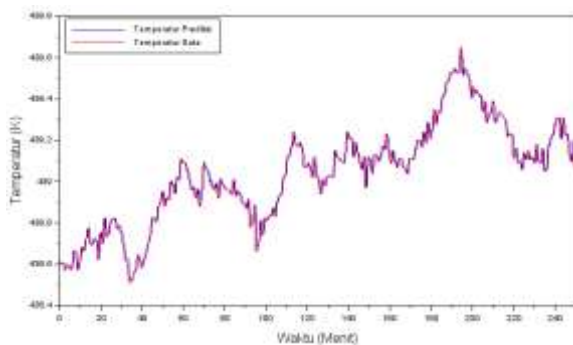
$$Fit = 100\% \times \left[1 - \frac{\|y(k) - \hat{y}(k)\|}{\|y(k) - \bar{y}(k)\|} \right] \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan 9 dan 10, $y(k)$ adalah data keluaran, $\hat{y}(k)$ adalah data keluaran prediksi. Secara ringkas *error* kuadrat rata-rata merupakan rata-rata dari kuadrat selisih data keluaran ($y(k)$) dengan data prediksi ($\hat{y}(k)$) dibagi jumlah data (N). Sedangkan, kesesuaian kurva merupakan satu dikurang panjang matriks selisih data keluaran ($y(k)$) dengan data prediksi dibagi panjang matriks selisih data keluaran ($y(k)$) dengan rata-rata data keluaran ($\bar{y}(k)$) dikali 100%.

3 Hasil

Identifikasi linier untuk sistem temperatur air umpan menghasilkan grafik prediksi keluaran

temperatur air umpan pada *deaerator* yang ditunjukkan pada Gambar 3.

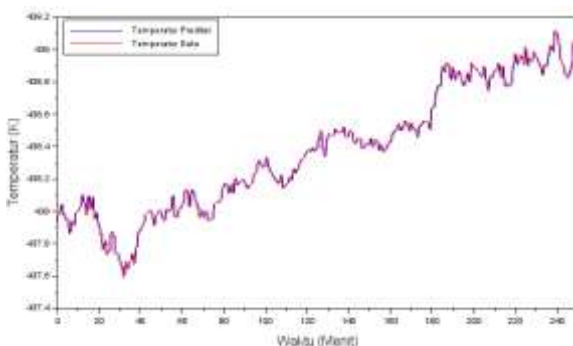


Gambar 12 grafik identifikasi sistem temperatur air umpan

Identifikasi sistem temperatur air umpan menghasilkan estimasi parameter yang ditunjukkan pada persamaan 13.

$$T_F(t) = \frac{0,00337}{z - 0,973} \dot{m}_c(t) + \frac{-0,00215}{z - 0,973} T_s(t) + \frac{z+0,0223}{z - 0,973} e(t) \quad (11)$$

Berdasarkan parameter estimasi tersebut didapatkan nilai MSE temperatur air umpan (T_F) sebesar $1,71 \times 10^{-3}$ K. Selain itu, didapati nilai kesesuaian kurvanya sebesar 83,047 %. Rata rata temperatur air umpan (T_F) prediksi bernilai 439,036 K. Sedangkan rata-rata temperatur air umpan (T_F) data bernilai 439,037 K. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa parameter estimasi yang didapat dari identifikasi sistem linier sudah merepresentasikan karakteristik temperatur air umpan (T_F) pada kenyataan di lapangan. Parameter estimasi tersebut divalidasi dengan data variabel proses lainnya untuk menguji apakah model estimasi dapat dipakai untuk data lainnya. Hasil validasi model estimasi temperatur air umpan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 13 grafik validasi model estimasi temperatur air umpan

Parameter estimasi yang didapat dari identifikasi linier dapat dipakai pada data validasi dengan menghasilkan nilai MSE temperatur air umpan (T_F) prediksi sebesar $1,45 \times 10^{-3}$ K dan menghasilkan kesesuaian kurva sebesar 90,181 %. Pada hasil validasi ini didapati bahwa rata-rata pada temperatur (T_F) air umpan prediksi bernilai 438,374 K. Sedangkan rata-rata temperatur air umpan (T_F) data bernilai 438,376 K. Hasil dari identifikasi sistem temperatur air umpan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Ringkasan hasil identifikasi sistem

	Data 1	Data 2
MSE	$1,70 \times 10^{-3}$ K	$1,45 \times 10^{-3}$ K
Fit	83,047 %	90,181 %

Berdasarkan tabel 1, didapati bahwa nilai MSE dan nilai Fit data kedua lebih baik dibandingkan data pertama. Hal ini dikarenakan deviasi dari data kedua lebih kecil dibandingkan data pertama. Selain itu model estimasi ARMAX ini mempunyai grafik trend prediksi yang mengikuti grafik trend data, hal ini disebabkan model ARMAX yang merupakan *auto regressive* dan mendefinisikan bahwa perhitungan *output* prediksi pada saat t menggunakan data *output* pada saat $t - 1$.

Parameter atau model estimasi berdasarkan identifikasi sistem hanya berdasarkan data input dan output. Sehingga pada parameter estimasi tidak menerangkan fenomena-fenomena fisika yang terjadi pada sistem temperatur air umpan deaerator.

4 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini menghasilkan model matematis temperatur air umpan berdasarkan identifikasi sistem yang ditunjukkan pada Persamaan 14.

$$T_F(t) = \frac{0,00337}{z - 0,973} \dot{m}_c(t) + \frac{-0,00215}{z - 0,973} T_s(t) + \frac{z+0,0223}{z - 0,973} e(t) \quad (12)$$

Persamaan model matematis temperatur air umpan pada Persamaan 14 menghasilkan nilai MSE sebesar $1,70 \times 10^{-3}$ K, dan nilai fit sebesar 83,047 %. Dari hasil ini model matematis atau model estimasi pada persamaan 14 sudah

menunjukkan karakteristik dinamika temperatur air umpan pada *deaerator*.

5 Daftar Pustaka

- [1] Lennart Ljung. System Identification: Theory for The User, Second Ed. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 1999.
- [2] Apolonius Adhi. *Pemodelan Matematis dan Identifikasi Sistem Dinamika Temperatur dan Level Air Umpan pada Deaerator*. Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2015.
- [3] Yuri A.W. Shardt dan Biao Huang. "Closed-Loop Identification Condition for ARMAX Models Using Routine Operating Data". *Automatica*, 47:1534-1537, 2011.
- [4] Khaled Elleuch, Maher Kharrat, Abdessattar Chaari, dan Mohamed Chaabane. "Modeling and Identification of Block-Oriented Heat Transfer Process". *International Journal of Information and System Sciences*, 5(1):41-56, 2009.
- [5] M. Gevers, L. Miskovic, D. Bonvin, dan A. Karimi. "Identification of Two-Input System: Variance Analysis", 2005.
- [6] J. Jahaya, S.W. Nawawi, dan Z. Ibrahim. "Multi Input Single Output Closed Loop Identification of Two Wheel Inverted Pendulum Mobile Robot". *IEEE Student and Development*, 2011.

Konsep Satuan Hilang Energi dalam Aliran Fluida

Mubiar Purwasasmita

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha 10 Bandung, 40132

Email: mubiar@che.itb.ac.id filiasi Penulis

Abstrak

Analog terhadap konsep 'Bilangan Satuan Perpindahan' (NUT) yang dikemukakan oleh Chilton dan Colburn (1933), berikut ini dikemukakan definisi 'Bilangan Satuan Energi' (NUE) yang hilang/digunakan dalam sembarang alat yang mewadahi fluida yang bergerak secara mantap. Bahasan ini diangkat dari berbagai tulisan dan kuliah Prof. Le Goff di Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques (ENSIC) - Nancy, Perancis. Bahasan diawali dengan mengemukakan dua cara 'hilangnya' energi mekanik, yakni secara gesekan ciskos dan secara inersia (oleh pelontaran atau penahanan paket fluida). Kemudian, 'Satuan Hilang Energi' ditunjukkan sebagai penjumlahan dua suku yang merupakan kedua cara penghilangan energi diatas dan suku ketiga yang merupakan ketidak-aditivannya. Ditunjukkan bahwa aditivitas kedua cara penghilangan energi tersebut dipenuhi dengan baik oleh aliran fluida dalam media porus (persamaan Ergun) dan agak baik oleh aliran seputar benda padat konteks yang tercelup (sedimentasi bebas). Aditivitas ini tidak lagi dipenuhi oleh aliran dalam pipa kosong, tetapi juga oleh aliran dalam bejana berpengaduk. Dalam makalah ini dibahas pula 'Bilangan Satuan Energi' yang hilang dalam berbagai konfigurasi geometris. Dalam setiap hal, besaran unik NUE dinyatakan sebagai fungsi dari berbagai bilangan tak-berdimensi yang telah biasa digunakan. Demikianlah pernyataan satuan fenomena hilang energi memungkinkan untuk membandingkan densitas daya yang hilang dalam berbagai konfigurasi geometrik peralatan.

Kata Kunci: Bilangan satuan energi yang hilang, Bilangan Satuan Perpindahan, Persamaan Ergun, Aditivitas, konfigurasi geometrik

1 Notasi Satuan Hilang Energi (Nue)

Suatu benda (objek) bermassa M yang diam dalam ruang kosong akan digerakkan sejauh L tertentu dalam suatu waktu tertentu. Bagaimanakah cara memindahkan objek tersebut agar jumlah energi yang digunakannya minimum?

Terdapat banyak lintasan yang mungkin (lihat Gambar-1a) agar kecepatan meningkat dan mencapai suatu maksimum pada saat t_m . Salah satu diantaranya adalah percepatan progresif dari 0 s/d t_m sampai kecepatan mencapai harga

maksimumnya, V_m , lalu perlambatan progresif antara waktu t_m dan t .

Maka pertukaran energi antara objek dengan lingkungannya adalah $2 \times \frac{1}{2} \times M v_m^2$. Energi ini adalah harga minimum untuk $v_m = u = L/t$, artinya untuk mekanisme yang disebut 'impulsi ganda' media luar memberikan suatu impulsus kepada objek yaitu energi $\frac{1}{2} M u^2$ dalam suatu waktu yang sangat singkat. Kemudian objek akan melanjutkan luncurannya pada kecepatan tetap (tanpa gesekan per-hipotesa). Pada saat akhir, objek melepaskan energi kinetiknya kepada media luar karena suatu impulsus baru dalam arah yang berlawanan. Karena perpindahan ganda energi ini adalah suatu proses irreversibel maka akan disertai hilangnya sejumlah tertentu energi potensial yang terkandung dalam lingkungan yang memungkinkan berlangsungnya perpindahan objek.

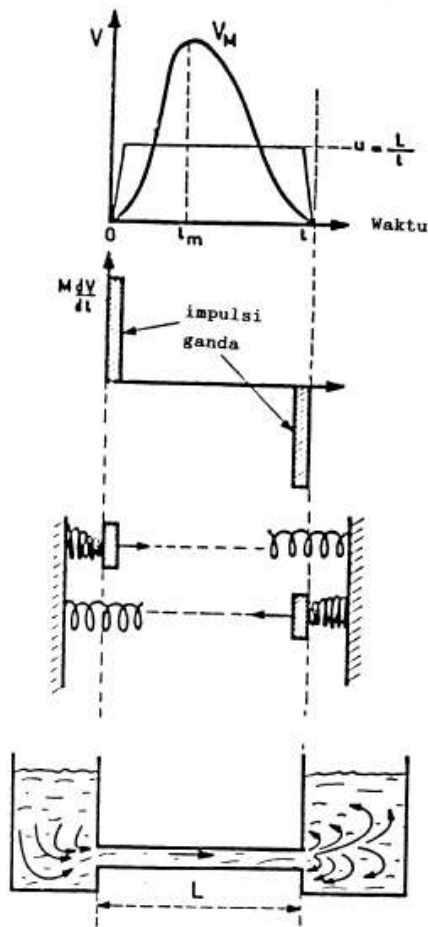
Bayangkan misalnya energi potensial dari lingkungan terjadi karena kompresi suatu bahan elastik (pegas). Penahanan sembarang pegas akan memberikan impuls awal pada objek. Sebaliknya, pengereman akhir dari objek akan dapat dilakukan pada kompresi pegas yang lain. Maka akan terdapat pemulihan energi potensial pada lingkungan, akan tetapi hanya sebagian saja. Akibatnya, kedua gerakan kompresi-pengereman pegas ini akan menghasilkan pemanasan oleh karena gesekan intern dalam logam (Gambar 1-b).

Sebut E_d adalah jumlah energo mekanik yang hilang ke dalam panas. Maka evaluasi E_d dengan membandingkannya terhadap energi $M u^2$ yang diperlukan dengan lingkungan dapat ditunjukkan dengan persamaan:

$$E_d = N_{UE} \cdot M u^2 \quad (1)$$

N_{UE} adalah bilangan satuan energi yang hilang dalam operasi pemindahan tersebut, dan $M u^2$ adalah satuan alamiah Energi yang dipindahkan:

$$\left[\frac{\text{satuan energi}}{\text{perpindahan}} \right] = M u^2 = M \left(\frac{L}{t} \right)^2 \quad (2)$$



Gambar 1 Skema mekanisme energi dan impuls

Persamaan NUE ini dikemukakan sebagai analogi terhadap notasi 'Bilangan Satuan Perpindahan' (massa atau panas) seperti telah dikemukakan oleh Colburn pada tahun 1933 [1]. Dapat ditunjukkan bahwa ketiga notasi ini adalah benar-benar serupa, bahkan harganya dapat sama, seperti dalam hal analogi Reynold.

Dalam hal pegas terbuat dari bahan yang sangat elastis, NUE dapat memiliki harga yang sangat kecil, biasanya pada orde 10^{-4} . Sebaliknya, bila lingkungan berupa suatu fluida, NUE berada pada tingkat harga 100. Sebenarnya, dalam suatu fluida, Energi mekanik potensial persatuan volume adalah tekanan motris $p' = p + \rho g Z$, dan konversi Energi potensial ke dalam energi kinetik dalam fluida berlangsung dengan suatu rendemen yang jelek (seperti akan dibahas berikut ini). Energi hilang berada pada tingkat energi yang dipindahkan.

2 Aplikasi Pada Suatu Fluida yang Mengalir

Konsep di atas akan diterapkan pada setiap unit volum fluida yang akan dialirkan dari satu wadah ke wadah yang lain melalui suatu pipa dengan panjang L (seperti pada gambar 1-c). Dapat diketahui bahwa tekanan motris p' adalah Energi mekanik potensial per satuan volume. Maka dapat ditulis bahwa jumlah Energi hilang per satuan volume adalah

$$p'_1 - p'_2 = NUE \cdot \rho \cdot u_m^2 \quad (3)$$

dimana:

u_m adalah kecepatan rata-rata aliran dalam perpipaan : $u_m = \frac{L}{t}$

$\rho \cdot u_m$ adalah satuan energi perpindahan dari satuan volume. NUE adalah Bilangan Satuan Energi hilang dalam seluruh perpipaan. Dapat dilihat bahwa NUE sama dengan bilangan tak berdimensi yang biasa disebut dengan bilangan Euler [2]: $NUE = Eu$. Harga NUE dibentuk oleh tiga komponen, yaitu satu untuk setiap ujung-ujungnya dan satu untuk perpipaannya sendiri. Ketiga komponen ini akan dibahas pada Paragraf-4. Diketahui bahwa jumlah energi hilang dalam hadangan pada masukan dan keluaran perpipaan bergantung pada bentuk hadangan tersebut. Misalnya untuk pipa silinder kontraksi / ekspansi tiba-tiba pada suatu wadah yang besar, akan diperoleh:

Untuk keluaran : $NUE_o = 0,50$

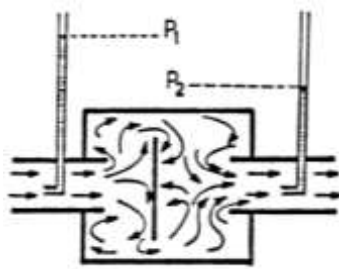
Untuk masukan : $NUE_i = 0,25 \text{ s/d } 0,50$

Sehingga totalnya akan diperoleh:

$$NUE_{(i-o)} = 0,75 \frac{s}{d} \quad (4)$$

Dalam singularitas pipa yang mencakup ekspansi karena adanya *baffle*, energi kinetik fluida yang terbentuk sepenuhnya hilang ke dalam energi pengadukan turbulensi paket-paket fluida, yang akhirnya kedalam energi pengadukan molekular (peningkatan temperatur).

Penting untuk dicatat bahwa dalam suatu bejana dengan pencampuran makro yang sempurna (seperti Gambar-2), energi kinetik beraturan dari pancaran sepenuhnya berubah ke dalam energi kinetik yang tidak beraturan untuk pengadukan paket-paket fluida. Akan tetapi, energi ini tidak selalu menjadi panas, karena tidak ada keharusan pencampuran mikro (hingga ukuran molekular) [3, 4].



Gambar 2 Ilustrasi aliran turbulen dalam pipa yang terhalang baffle

3 Dua Cara Hilang Energi: Secara Inersia atau Secara Gesekan Viskos

Ambil sekarang perpindahan objek pada kecepatan konstan rata-rata u , sepanjang jarak L dan anggap ada gesekan antara objek dengan lingkungannya. Diketahui bahwa akibat kedua cara penghilangan energi mekanik ini, yang merupakan dua fenomena ireversibel, membawakan pada dua suku dalam persamaan yang menyatakan NUE. Untuk hal atau lingkungan objek yang berupa fluida Newton dapat dibahas sebagai berikut,

1. Suku inersia: bila objek ditahan beberapa kali sepanjang lintasannya, yang setiap kali memberinya satu satuan energi untuk mengentikan dan meluncurkannya kembali. Bila A' bilangan pemberhentian persatuan panjang lintasan, maka energi yang dipertukarkan adalah: $L \cdot A' \cdot M \cdot u^2$.
2. Ini yang akan dikemukakan sebagai aliran turbulen suatu fluida: setiap objek akan berupa suatu paket fluida yang secara berulang kali dihentikan dan diluncurkan dalam turbulen.
3. Suku gesekan viskos: dikemukakan bahwa gaya gesekan dari objek terhadap fluida yang mengitarinya adalah sebanding dengan kecepatan u dan ukuran karakteristik objek ' d ' (hukum Stokes untuk fluida Newtonian), sehingga dapat ditulis:

$$F_f = (\text{tetapan}) \cdot \mu \cdot u \cdot d.$$

Kerja yang dilakukan oleh gaya ini atas lintasan L adalah $b \mu u L d$. Dimana b adalah koefisien yang hanya bergantung pada bentuk objek ($b=3$ untuk objek seperti bola, dan untuk objek berbentuk sembarang $b = 3\psi$, dimana ψ adalah koefisien kebolaan). Maka keaditivan kedua suku di atas energi hilang dapat ditulis:

$$E_d = L A' M u^2 + b \mu u L d \quad (5)$$

Sementara bilangan Reynolds relatif terhadap objek yaitu:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (6)$$

Dimana ρ adalah rapat massa fluida.

Maka energi hilang dapat ditulis sebagai

$$E_d = L M u^2 (A' + \frac{B}{Re}) \quad (7)$$

$$\text{Dengan } B = \frac{18\psi}{\pi d} \cdot \frac{\rho}{\rho_o}$$

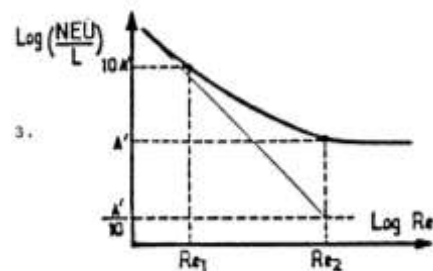
B adalah tetapan karakteristik dari sistem dan $\frac{\rho}{\rho_o}$ adalah perbandingan rapat massa fluida dengan objek.

Dengan hal tersebut dapat diturunkan pernyataan Bilangan Satuan Energi yang hilang per satuan panjang sebagai:

$$\frac{NUE}{L} = A' + \frac{B}{Re} \quad (8)$$

Sebagaimana ditunjukkan diagram bilogaritma (Gambar-3) kita dapat membedakan 3 daerah yang dipisahkan oleh dua harga kritis bilangan Reynold sebagai berikut:

1. Untuk $Re > Re_2$, suku pertama dalam sekurang-kurangnya 10 kali lebih besar daripada suku kedua. Hal ini berarti lebih dari 90% energi hilang karena kondisi inersia.
2. Untuk $Re \cdot Re_1$, suku kedua sekurang-kurangnya 10 kali lebih besar dari suku yang pertama. Hal ini berarti bahwa lebih jauh dari 90% energi hilang karena gesekan viskos.



Gambar 3 Diagram bilogaritma

4 Aliran Dalam Pipa Silinder Yang Panjang

Ambil suatu pipa silinder berpenampang Ω , yang di dalamnya mengalir suatu fluida dengan debit volum $V' = \Omega u_m$. Daya mekanik yang hilang karena gesekan pada dinding seluas A adalah: $E_d' = V' (P_1 - P_2)$. Oleh karena $E_d' = E_d / A$ adalah

densitas daya yang hilang pada dinding tersebut (dalam Watt/m²). Maka akan diperoleh:

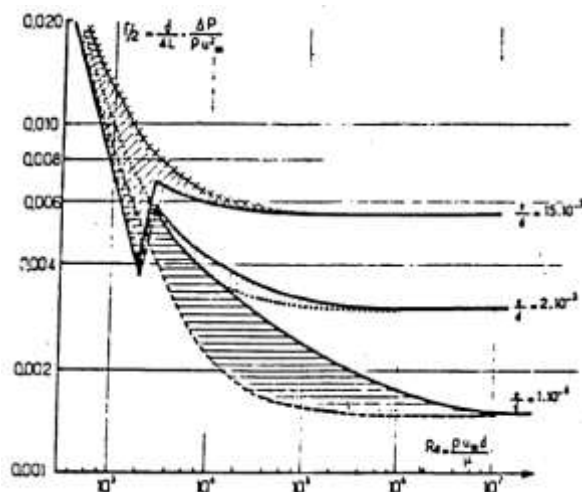
$$E'_d = o_d \cdot A = \Omega u_m (P_1 - P_2)$$

Sementara itu, 'Bilangan Satuan Energi yang hilang' $P_1 - P_2 = NUE \cdot \rho u_m^2$ sehingga akhirnya akan diperoleh

$$NUE = \frac{A}{\Omega} \cdot \frac{f}{2} \text{ dengan } \frac{f}{2} = \frac{e_d}{\rho u_m^2} \quad (9)$$

Penting untuk dicatat bahwa relasi ini adalah bersifat umum, sehingga dapat direapkan pada perpipaian yang secara makro bersifat silindris sekalipun dindingnya sangat kasar, atau bila pipa tersebut terbentuk oleh rongga-rongga dan penyempitan-penyempitan yang berurutan. Catatan ini akan sangat berguna untuk membahas aliran dalam media poros. Koefisien f didefinisikan sebagai yang biasa ditemui dalam mekanika fluida sekalipun mungkin dikemukakan dengan cara yang berbeda.

Gambar- 4 menyatakan kembali beberapa kurva dari diagram klasik, dari *moody* [5] untuk pipa berpenampang bulat, sehingga $\frac{A}{\Omega} = \frac{4L}{d}$ yang artinya koefisien gesekan $f/2$ merupakan fungsi bilangan Reynold untuk berbagai harga kekasaran relatif. e/d .



Gambar 4 Penyimpangan terhadap aditivitas cara penghilangan energi dalam pipa silinder panjang.

Ketiga kurva tersebut sepenuhnya ditarik dari hasil percobaan. Ketiga kurva ini secara teliti menyatakan relasi-8 dengan asimtot yang sama, yang berarti adanya aditivitas kedua cara hilangnya energi:

$$\frac{f}{2} = \frac{d}{4} \left(A' + \frac{B}{Re} \right) \quad (10)$$

Dapat diamati bahwa untuk kekasaran relatif yang sangat tinggi ($e/d > 5 \cdot 10^{-3}$) kurva percobaan sepenuhnya berada di bawah kurva yang bersangkutan dengan aditivitas: penyimpangan terhadap aditivitasnya selalu negatif. Sebaliknya, untuk harga kekasaran relatif lebih kecil, penyimpangannya, adalah negated dalam rejim laminar dan positif dalam rejim turbulen. Misalnya, untuk $e/d = 1 \cdot 10^{-4}$, penyimpangan relatif mencapai suatu harga maksimal pada orde 30% untuk $Re \sim 30.000$.

Adanya suatu non-aditivitas mem-punyai arti bahwa munculnya turbulensi dan gesekan viskos bukanlah fenomena yang saling tidak bergantung. Bila kita naikan kecepatan aliran secara progresif (yang berarti juga Re), system berubah dari rejim laminar ke rejim turbulen pada suatu selang harga Re yang sangat sempit. Terjadi pergantian yang cukup mendadak dari suatu cara penghilangan energy terhadap cara yang lainnya, dan tidak ada koeksistensi dari kedua cara ini dengan perubahan progresif dari yang satu terhadap yang lainnya. Hal ini berkebalikan terhadap apa yang akan terjadi dalam media poros.

Secara analog dengan notasi 'Tinggi Satuan Perpindahan' seperti dikemukakan oleh Chiolton dan Colburn [1] untuk fenomkena perpindahan massa dan panas pada dinding, sangat menarik untuk dikemukakan suatu notasi 'Tinggi Satuan energi' (atau lebih tepat lagi 'Panjang Satuan Energi') dengan menuliskan:

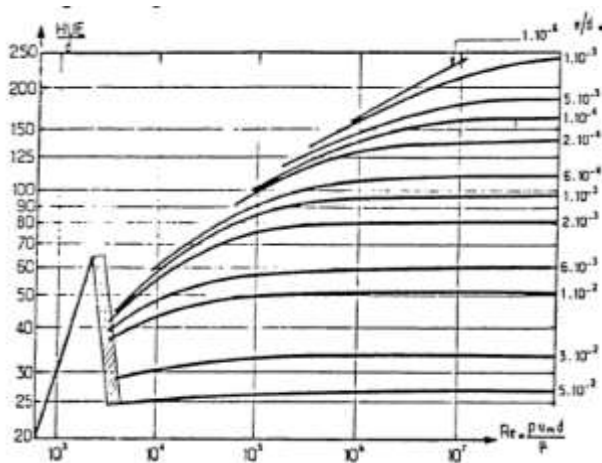
$$L = NUE \cdot HUE \quad (11)$$

Maka HUE secara definisi adalah panjang pipa dimana terjadi hilang satu satuan energi. Secara umum $HUE = \frac{\Omega Z}{A f/2}$ dan untuk pipa berdiameter d :

$$HUE = \frac{d}{2f} \quad (12)$$

Oleh karena itu, nilai HUE dapat kita nyatakan sebagai suatu perkalian terhadap diameter pipa.

Diketahui bahwa apabila faktor gesekan berubah sedikit saja, antara 1×10^{-2} dan 1×10^{-3} , bila harga Re berubah antara 1600 dan 2×10^8 , dan untuk seluruh harga kekasaran dinding. Secara korelasi 'Tinggi Satuan Energi' pun berubah sedikit pula, selalu berad antara 25-250 diameter dalam selang Re yang sama, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar-5. Suatu harga rata-rata yang seragam dengan orde 50 s/d 100 diameter merupakan harga yang sangat bersesuaian dengan harga dalam praktek industri.



Gambar 5 “Tinggi Satuan Energi yang Dihilangkan” dalam pipa panjang, sebagai fungsi bilangan Reynold untuk berbagai harga kekasaran relatif dinding.

Catatan: perhitungan klasik hilang tekan total dalam suatu perpipaian yang panjang terdiri atas singularitas (seperti siku, T0, penyempitan, tampisan, dsb) yang sering kali dilakukan dengan menambahkan pada panjang pipa yang sebenarnya suatu panjang ekivalen untuk setiap singularitas itu. Maka prosedur ini akan memberikan pula penambahan pada ‘Bilangan Satuan Energi’-nya.

5 Aliran dalam Media Poros

Anggap sekarang bahwa fluida dengan debit volum total v' mengalir melalui suatu media poros. Ambil sebagai model dari volume poros ini suatu bundle dengan N_h pipa silindris paralel berdiameter ‘hidraulis’ d_h sedemikian sehingga penampang bebas untuk aliran adalah:

$$\Omega = N_h \cdot \frac{\pi d_h^2}{4} \quad (13)$$

Untuk memelihara sifat umum definisi yang telah dikemukakan terdahulu, sebut U_m sebagai kecepatan rata-rata aliran dalam badan media poros, yakni:

$$U_m = \frac{v'}{\Omega}$$

Sehingga dapat didefinisikan bilangan Reynold turbulen Re_t dan faktor gesekan yang bersangkutan sebagai:

$$Re_t = \frac{\rho U_m d_h}{\mu} \text{ dan } \frac{f}{2} = \frac{\Omega}{A} NUE = \frac{d_h}{4L} \frac{P_1 - P_2}{\rho U_m^2} \quad (14)$$

Diketahui bahwa hasil percobaan tentang hilang tekan dalam media poros dinyatakan dengan cukup baik oleh rumus klasik dari Ergun [6] yang

dapat ditulis dengan notasi yang sesuai sebagai berikut:

$$\frac{f}{2} = 0,29 + \frac{16,7}{Re_t} \quad (15)$$

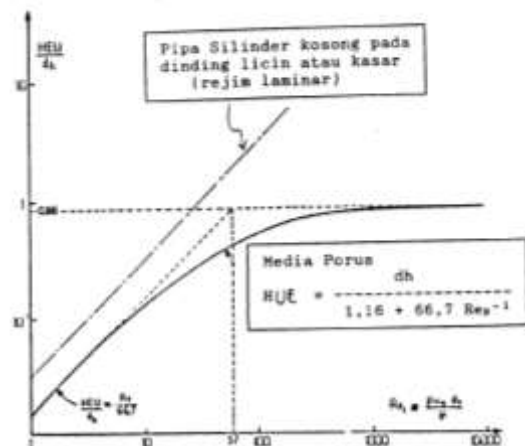
Sehingga dapat dikemukakan adanya aditivitas kedua cara penghilangan energi.

Oleh karena itu dapat kita turunkan pernyataan ‘Panjang Satuan Energi’ menurut Persamaan-10 sebagai berikut:

$$HUE = \frac{d_h}{1,16 + 66,7 Re^{-1}} \quad (16)$$

adalah sangat menarik untuk membandingkan harga HUE ini terhadap harga yang bersangkutan dengan aliran dalam pipa yang benar-benar silindris berdiameter ‘hidraulis’ d_h yang setara, dan dengan kekasaran yang bervariasi.

Hal ini ditunjukkan dalam Gambar-6: Dalam batas harga Re_t yang diambil disini (1 s/d 5000) aliran dalam pipa silindris adalah laminar dan Panjang satuan Energi yang diturunkan dari hukum Poiseuille adalah $\frac{HUE}{d_h} = \frac{Re_t}{32}$ apapun kekasaran dinding pipa tersebut.



Gambar 6 Perbandingan nilai HUE terhadap harga yang bersangkutan dengan aliran dalam pipa silindris dan dengan kekasaran yang bervariasi.

Dapat dilihat dalam media poros bahwa Panjang Satuan Energi juga meningkat secara linier untuk harga Re yang kecil, pada setara dengan harga yang sangat kecil untuk pipa silindris yang ekuivalen. Kemudian secara asimptotis menuju suatu batas yang setingkat harga d_h .

$$\frac{HUE}{d_h} = 0,86 \text{ untuk } Re_t \geq 1000$$

Hal ini mempunyai arti bahwa pada kecepatan tinggi fluida ditahan dan diluncurkan lagi setiap

kali ia melintasi suatu jarak yang mempunyai tingkat harga sama dengan diameter hidraulik d_h .

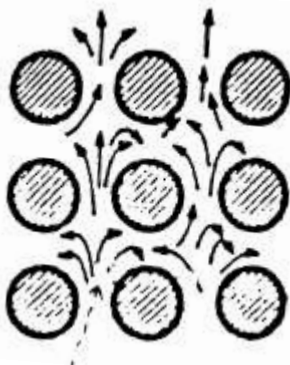
Untuk dapat melihat dengan lebih baik interpretasi fisik fenomena ini, ambil hal khusus dimana media poros dibentuk oleh unggun partikel bola berdiameter d_p . Dengan demikian, sangat mudah menyatakan diameter hidraulik sebagai fungsi dari d_p .

$$d_h = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} d_p \quad (17)$$

dimana ε adalah porositas unggun (fraksi volume kosong). Dengan hal tersebut dapat diturunkan pernyataan 'Bilangan Satuan Energi yang Hilang' sebagai berikut:

$$NUE = \frac{L}{d_p} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \left(1,75 + \frac{100}{Re_t} \right) \quad (18)$$

Untuk penerapannya dalam angka, buat dalam relasi $L = dp$ dan $\varepsilon = 0,50$ sehingga dapat dilihat bahwa pada saat fluida mengalir dengan kecepatan tinggi ($Re_L \gg 100$), akar dalam suatu panjang L sama dengan satu diameter partikel, dalam suatu media berporositas $\varepsilon = 0,50$, akan terjadi penghilangan 1,75 satuan energi. Hal ini menunjukkan evaluasi berapa kali fluida dihentikan dalam turbulen yang terkandung dalam rongga-rongga, kemudian diluncurkan kembali dalam penyempitan yang menghubungkan rongga-rongga tersebut (lihat Gambar-7).



Gambar 7. Sebesar 1,75 satuan energi yang dihilangkan (dalam rongga-rongga) untuk $L=dp$ dan $L=0,5$.

6 Aliran Seputar Benda Tercelup

Ambil suatu benda tercelup simetri silindris yang ditempatkan dalam fluida yang mengalir secara mantap. Perhatikan satu benda tersebut dan bayangkan adanya suatu pipa aliran yang menumbuk penampang memotong benda tercelup tersebut (lihat Gambar-8).

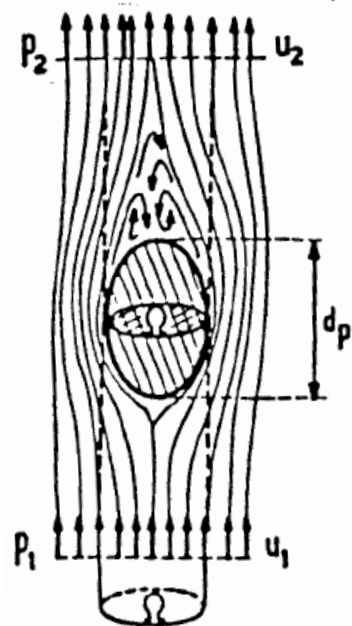
Dari neraca energi mekanik dari satu satuan volume, antara dua titik yang terletak satu jauh di hulu dan satu lagi jauh di hilir benda tercelup tersebut, dapat dituliskan lagi disini Persamaan-3, yaitu:

$$P_1 - P_2 = NUE \cdot \rho u^2$$

Dengan mengidentifikasi relasi ini pada definisi yang biasa digunakan yaitu koefisien seret C_x , akan diperoleh:

$$NUE = \frac{C_x}{2} \quad (19)$$

Telah cukup banyak baasan teoritis dan eksperimental mengenai harga C_x ini sebagai fungsi dari bilangan Reynolds 'khusus', atau $Re_p = \frac{\rho u d_p}{\mu}$ (dimana d_p adalah 'diameter' semu dari benda tercelup) dan berbagai faktor bentuk yang menyifatkan penyimpangan bentuk benda tercelup terhadap bola.



Gambar 8 Ilustrasi aliran yang menumbuk penampang sehingga memotong benda tercelup.

Dalam hal khusus dimana benda tercelup tersebut berupa bola (berupa butiran), hasil percobaan untuk $Rep \sim 300.000$ dapat dinyatakan cukup baik oleh fungsi berikut:

$$NUE = 0,21 + 12Rep^{-1} + \Delta(NUE) \quad (20)$$

Suku pertama berkaitan dengan penghilangan energi oleh inersia dalam ulakan turbulen dari

benda tercelup tersebut. Suku ini sangat menentukan untuk $Re \geq 1000$ (rejim Newton). Suku ke-dua menyatakan gesekan viskos (rejim Stokes). Suku ke-tiga menyatakan non-aditivitas dari kedua suku diatas. Suku ini adalah suku koreksi yang hanya berarti dalam daerah antara, seperti ditunjukkan oleh kurva pada Gambar-9, atau juga dapat ditunjukkan dalam Tabel-1:

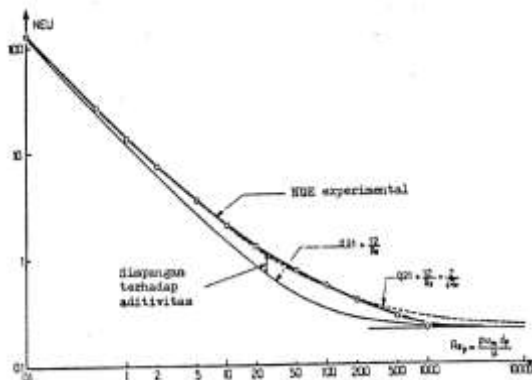
Tabel 1. Harga Suku Koreksi

Re	ΔNUE	$\Delta(NUE)/NUE$
0,1	-0,22	-1,8 %
0,5	+0,50	+2,0 %
1	+1,03	+8,6 %
10	+0,63	+30 %
50	+0,29	+39 %
100	+0,19	+36 %
1000	+0,004	-0,8 %

Suku koreksi tersebut mencapai nilai maksimum sebesar 39% dari nilai total NUE untuk $Re = 50$. Sesuai dengan hasil percobaan Kaskas [7] yang dikemukakan oleh Molerus [8], dapat diberikan pada suku koreksi ini pernyataan berikut:

$$\Delta NUE = 2 \cdot Re^{-0,50} \quad (21)$$

Kurva tersebut juga di-plot dalam Gambar-9.



Gambar 9 Bilangan Satuan Energi yang Hilang dan aliran seputar benda berbentuk bola.

Menarik untuk dicatat bahwa juga pada kecepatan yang sangat tinggi (rejim Newton) hanya terjadi penghilangan 0,21 Satuan Energi di dalam ulakan turbulen dari suatu benda tercelup yang berupa bola. Diketahui pula bahwa koefisien seret mencapai harga numerik yang berbeda untuk benda-benda tercelup yang tidak berbentuk bola. Misalnya untuk suatu pelat tipis berdiameter d yang tegak lurus aliran dapat diukur $C_x = 2$, yang memberikan $NUE = 1$. Maka satu satuan energo dihilangkan dalam ulakan. Sebaliknya, dengan benda tercelup yang dibentuk dengan baik

(streamline), suku inersia dapat lebih rendah dari 0,05. Akan diperoleh (dalam Paragraf-1) suatu interpretasi harga $NUE = 0,21$ untuk suatu bola yang didasarkan atas model impuls ganda seperti yang telah dikemukakan sebelumnya.

Bilangan Satuan Energi yang Hilang Seputar Benda Tercelup dalam Rejim Newton

Diketahui bahwa dalam rejim Newton, yakni untuk $500 \leq Re \leq 30.000$, koefisien seret C_x mempunyai suatu harga kuasi-konstan dengan tingkat harga 0,4 s/d 44 untuk suatu bola. Dari hal tersebut, dapat diturunkan Bilangan Satuan Energi yang hilang, yaitu pada tingkat 0,20 s/d 0,22.

Secara teoritis, harga ini dapat ditemukan kembali oleh suatu aplikasi sederhana model impuls ganda, seperti yang telah dijelaskan pada Paragraf-1.

Ketika objek bergerak pada suatu jarak L yang sama dengan panjangnya, ia akan mendorong satu volume V fluida agar menyisih. Dalam suatu waktu $t = \frac{L}{u}$, setiap satuan volume fluida harus bergerak secara lateral dari suatu jarak y sehingga dapat dengan mudah menghitung harga rata-ratanya, yaitu:

$$\bar{y} = \frac{2\sqrt{2} - 1}{6} d \approx 0,31 d$$

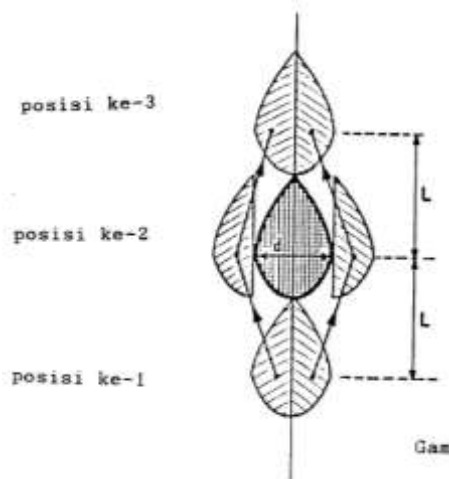
Lalu ketika objek maju dari suatu panjang yang baru L , volume V fluida akan bergerak lagi dalam arah kebalikannya, untuk kembali ke sumbu lintasannya. Energi minimal yang diberikan kepada fluida untuk melakukan pergerakan lateral gandanya, diberikan oleh prosedur tumbukan-ganda, seperti yang telah dijelaskan pada Paragraf-1: Fluida akan dianggap bergerak pada suatu kecepatan lateral konstan, yakni: $\frac{\bar{y}}{t}$.

Secara total, ketika volume V fluida lewat dari posisi pertama ke posisi ke-tiga, seperti pada sketsa di Gambar-10, ia mempertukarkan dengan 'lingkungan luar' (fluida yang ada), yaitu energi mekanik:

$$E_L \approx 2V\rho \left(\frac{\bar{y}}{t}\right)^2$$

Suatu perkalian α dari energi ini dihilangkan menjadi panas. Untuk setiap satuan volume fluida diperoleh:

$$E_d = 0,19\alpha \frac{d^2}{L^2} \rho u^2$$



Gambar 10 Ilustrasi aliran fluida melalui berbagai posisi

Untuk suatu objek berbentuk bola ($d=L$), akan diperoleh:

$$NUE = \frac{E_d}{\rho u^2} = 0,19\alpha$$

Dibandingkan dengan harga eksperimental $NUE = 0,20$ s/d $0,22$, maka memberikan dengan baik $\alpha = 1,1$.

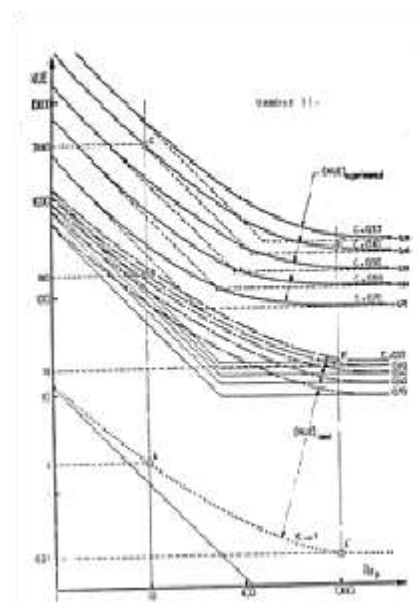
7 Membandingkan Butiran Tunggal Dengan Unggun Butiran

Bandingkan hilang energi seputar partikel tunggal dalam ruang tak terbatas, dengan hilang energi seputar partikel yang sama pada media unggun yang mempunyai porositas ε . Jumlah partikel per-satuan volume dapat dinyatakan dengan: $n = \frac{6(1-\varepsilon)}{\pi d_p^3}$.

Terlebih dahulu anggap bahwa keseluruhan N partikel berkelakuan sebagai suatu campuran ideal (dalam arti termodinamika). Hal ini berarti bahwa energi yang hilang secara total, harus sebesar N kali energi yang hilang seputar tiap partikel. Dengan menggunakan Persamaan-19 dan 20, dapat dihitung Bilangan Satuan Energi yang Hilang sepanjang L , yang dinyatakan dengan:

$$(NUE)_{ideal} = \frac{L}{d_p} \frac{3}{2} (1 - \varepsilon) [0,21 + 12Re_p^{-1} + Re_p^{0,50}] \quad (22)$$

Kurva-kurva yang ditarik pada Gambar-11 memberikan (NUE) untuk lima harga parameter ε , yakni $\varepsilon = 0,70$; $0,60$; $0,50$; $0,40$; dan $0,33$ untuk unggun berketinggian tertentu, yaitu $L = 100 d_p$.



Gambar 11 Berlangsungnya degradasi tambahan energi disebabkan interaksi antara partikel-partikel (ketidak-idealan dari campuran partikel)

Pada Gambar-11 juga dikemukakan dengan garis titik-titik harga eksponensial NUE untuk harga ε yang sama, yang dinyatakan oleh Persamaan Ergun (Persamaan-17). Setelah dinyatakan sebagai fungsi dari bilangan Reynolds khusus, Re_p yang diturunkan dari bilangan Reynolds turbular Re_t oleh relasi:

$$Re_p = \frac{3}{2} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} Re_t \quad (23)$$

Maka akan diperoleh:

$$NUE_{nyata} = \frac{L}{d_p} \left[1,75 \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) + 150 \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \right) Re_p^{-1} \right] \quad (24)$$

Disini akan didapatkan suatu bentuk modifikasi yang sangat dikenal sebagai Persamaan Ergun [6].

Selisih $(NUE)_{nyata} - (NUE)_{ideal}$ yang muncul pada Gambar-11 menyatakan suku ketidak-idealan. Ini adalah energi tambahan yang dihilangkan jarena partikel mengalami interaksi: setiap partikel berada dalam ulakan dari satu, bukan dari banyak partikel yang terletak di hulunya. Oleh karena itu, Gambar-11 juga menunjukkan berbagai sifat menarik dari suku ketidak-idealan ini. Bandingkan efek ini dengan koordinat ketiga titik A, B, dan C yang bersangkutan dengan harga Re_p yang sama.

Misalnya, untuk suatu unggun berporositas $\varepsilon = 0,40$, dan ketebalannya sama dengan diameter partikel ($\Delta L = d_p$) yang dipotong dari suatu unggun media poros, dapat dihitung:

- Untuk $Re_p = 10 \rightarrow$

- NUE=1,80 untuk campuran ideal
- NUE=36,40 untuk campuran nyata
- Untuk Rep = 1000 →
 - NUE=0,19 untuk campuran ideal
 - NUE=2,96 untuk campuran nyata

Dapat dilihat bahwa suku ketidak-idealitas adalah jauh lebih besar (15 s/d 20 kali lebih besar) dari pada suku yang ideal. Pengilangan energi terutama disebabkan oleh interaksi antara partikel dan ulakan dimana partikel tersebut berada.

Kesimpulan kedua adalah kedua kurva, ideal dan nyata, untuk harga ε yang sama nampaknya dapat diturunkan satu dari yang lainnya, oleh suatu afinitas sederhana ordinat-ordinatnya. Dengan kata lain, interaksi antara partikel meningkatkan jumlah energi yang hilang, yang secara perkiraan berada dalam perbandingan yang sama, apapun harga Re dalam selang 0,1 s/d 1.000. Hal ini mempunyai arti bahwa, pengaruh interaksi atas suku viskos dan pengaruh atas suku inersia adalah proporsional, suatu hasil bahasan yang secara apriori tidak disangka-sangka.

8 Bejana Berpengaduk Rotatif

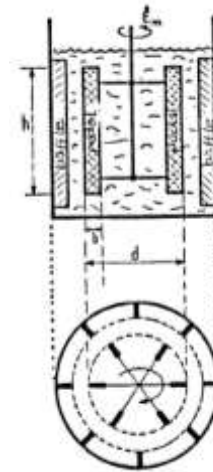
Ambil suatu bejana silinder yang di dalamnya berputar suatu pengaduk rotatif, yaitu suatu roda yang dilengkapi dengan pedal berdiameter d , lebar b , dan tinggi h . Kecepatan sudut perputaran pedal adalah $v = \pi N d$ dimana N adalah jumlah perputaran per detik.

Ambil satu satuan volume fluida yang terseret oleh pedal dengan kecepatan v . Peranalogi dengan (3) didefinisikan Satuan Energi Perpindahan dari Satuan Volume ini, yakni

$$\rho v^2 = \rho \pi^2 N^2 d^2 \quad (25)$$

Dalam hal lain, E_m adalah daya mekanik yang diberikan atas roda rotatif dan diteruskan kedalam fluida yang terseret oleh pedal, lalu hilang dalam bejana. Gunakan hipotesa bahwa daya ini diteruskan pada cincin fluida yang terseret oleh pedal dan volumenya adalah $v \approx \pi d b h$ (lebar pedal b dianggap cukup kecil bila dibandingkan terhadap diameter d). Akhirnya, Energi yang diberikan pada setiap satuan volume fluida dan setiap putaran adalah: $e_m = \frac{E_m}{v N}$. Sehingga, akhirnya Bilangan Satuan Energi yang hilang dalam bejana dapat dinyatakan sebagai:

$$NUE = \frac{e_m}{\rho v^2} = \frac{E_m}{\rho \pi^3 N^3 d^3 b h} \quad (26)$$



Gambar 12 Sketsa bejana berpengaduk rotatif

Di lain pihak, diketahui bahwa 'Bilangan Daya' P_o adalah suatu bilangan yang tak berdimensi, yang biasanya didefinisikan sebagai:

$$P_o = NUE \cdot \psi_p \text{ dengan } \psi_p = \frac{\pi^3 b h}{d^2} \quad (27)$$

ψ_p adalah faktor bentuk geometrik pedal, yang hanya bergantung pada ukuran pedal.

Terlihat bahwa Bilangan Daya adalah proporsional sederhana terhadap NUE . Adalah penting untuk dilihat dengan baik arti fisik dari besaran NUE ini, yaitu perbandingan energi yang hilang oleh tiap satuan volume fluida selama rotasi satu putaran penuh, terhadap energi kinetik rotasi dari paket satuan fluida yang sama:

$$NUE = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{energi yg hilang} \\ \text{per satuan volume} \\ \text{dan perputaran} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} \text{energi kinetik rotasi} \\ \text{dari satuan volume} \end{array} \right]} \quad (28)$$

Dengan menggunakan relasi umum aditivitas (Persamaan-8), sementara dinyatakan bahwa NUE adalah jumlah dari dua suku:

$$NUE = A' + \frac{B}{Re_t} \quad (29)$$

Dimana Re_t adalah bilangan Reynolds pengaduk yang didefinisikan oleh

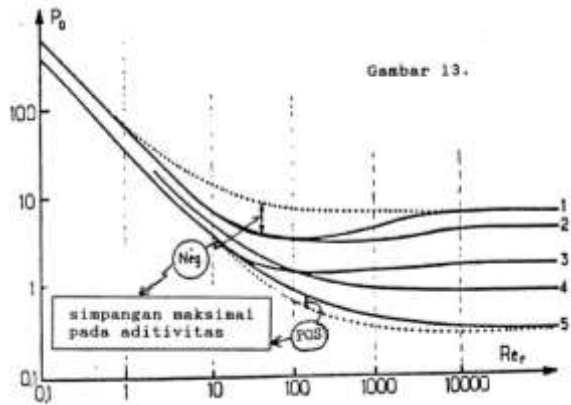
$$Re_t = \frac{\rho N d^2}{\mu} \quad (30)$$

$$P_o = A'' + \frac{B'}{Re_t} \quad (31)$$

Dengan

$$A'' = A' \psi_p, \text{ dan } B' = B \psi_p \quad (32)$$

Gambar-13 merupakan ringkasan dari Pustaka [9] dan [10] yang menunjukkan harga eksperimental P_o sebagai fungsi Re untuk roda yang dilengkapi oleh pedal berbagai ukuran dan bentuk (kurva dengan garis penuh).



Gambar 13 Harga eksperimental P_o sebagai fungsi Re untuk roda yang dilengkapi oleh pedal berbagai ukuran dan bentuk

Dua kurva ekstim yang juga diplot dalam gambar dengan garis titik-titik adalah kurva yang didasarkan atas asimtot yang sama, akan tetapi, dengan hukum aditivitas yang diberikan oleh Persamaan-28. Dapat dikemukakan bahwa untuk kurva yang rendah, aditivitas kira-kira dipenuhi dengan baik, naming dengan penyimpangan positif. Sebaliknya, untuk kurva yang lebih tinggi, Nampak pentingnya suatu penyimpangan negatif, yang ada pada tingkat 50% terhadap harga maksimumnya.

9 Percobaan Interpretasi Koefisien A''

Ingat arti koefisien A' dari Persamaan-28, yaitu A' adalah jumlah penahanan dan peluncuran kembali yang dialami setiap paket fluida per putaran roda. Beralasan untuk ditambahkan bahwa bilangan ini adalah proporsional terhadap jumlah p pedal yang terdapat pada roda. Fungsi *baffle* pada dinding bejana adalah untuk menjaga agar tidak terjadi kontak dinding dengan cincin fluida yang kuasi-stasioner.

Setiap paket satuan fluida yang dibuat tidak bergerak oleh suatu *baffle*, mengalami suatu tumbukan setiap kali pedal dari roda melintas di depannya dan suatu fraksi dari paket ini terseret dalam pusaran fluida yang berputar. Kemudian, paket ini lewat lagi ke dalam cincin yang tidak bergerak dengan mengalami tumbukan kedua, dengan energi yang sama dan dalam arah yang berlawanan. Maka dapat dinyatakan:

$$A'' = A' \psi_p = \alpha \pi^3 p \frac{bh}{d^2} \quad (32)$$

Pernyataan A'' ini adalah analog terhadap pernyataan yang telah dibuat oleh Le Lan dan Angelino [11]. Hal ini menarik untuk dikonfrontasikan dengan percobaan dalam suatu bahasan lebih lanjut. Namun, perlu dicatat dari sekarang bahwa untuk jenis roda standard [12], kita mempunyai $p = 6$; $b=0,2$; dan $h=0,2d$.

Dengan memasukkan harga-harga numerik ini kedalam Persamaan-32, akan diperoleh $A'' = 5\alpha$. Agar harga ini cocok dengan harga eksperimental dari A'' (yang berada antara 4 dan 6), maka harus diambil $\alpha \approx 1$.

Dengan kata lain, satu satuan energi dihilangkan pada setiap kali suatu paket satuan fluida dihantam oleh satu pedal dari pengaduk, yang dapat dibuktikan dengan model yang secara apriori telah dibayangkan.

10 Kesimpulan Umum

Dalam keempat jenis aliran fluida, telah didefinisikan Satuan Energi mekanik dari Satuan Volume fluida, yaitu 2, yang artinya dua kali energi kinetiknya. Telah dibahas energi yang hilang oleh fluida ini sepanjang pergerakannya atas jarak L , sehingga suatu perkalian dari satuan energi ini adalah 'Besaran Satuan Energi yang Hilang': NUE.

Konsep ini menunjukkan keunggulan berupa pembentukan suatu keterkaitan umum pada keempat bilangan tidak berdimensi, yang masing-masing telah biasa digunakan dalam bidang tertentu mekanika fluida, yaitu:

1. Untuk aliran dalam pipa silindris panjang dan kosong, adalah faktor gesekan: $\frac{f}{2} = \frac{d}{4L} NUE$.
2. Untuk aliran melalui suatu media poros, adalah juga faktor gesekan: $\frac{f}{2} = \frac{d}{4L} NUE$.
3. Untuk aliran seputar benda tercelup yang berbentuk bola, adalah koefisien seret: $C_x = 2 \cdot NUE$.
4. Untuk aliran berputar dalam suatu bejana yang dilengkapi oleh suatu pengaduk rotatif, adalah Bilangan Daya: $P_o = \frac{\pi^3 bh}{d^2} NUE$.

Dapat dilihat bahwa bilangan tak berdimensi yang digunakan dalam setiap kasus diatas dinyatakan secara sederhana sebagai fungsi dari 'Bilangan Satuan Energi yang Hilang'. Koefisien pembandingnya adalah suatu faktor bentuk geometri, yaitu faktor yang hanya bergantung pada ukuran relatif dari dinding terhadap kontak dimana energi dihilangkan.

Pernyataan satuan fenomena ini memungkinkan kita memperbandingkan densitas daya yang

dihilangkan, sekurang-kurangnya dalam ketifa hal pertama dan terutama untuk menyatakan secara kuantitatif pengaruh dari tekstur poros suatu unggun butiran atas energi yang hilang dalam tersebut.

Konsep Satuan Energi yang Hilang nampaknya dapat diterapkan pada masalah-masalah lain, seperti untuk mengevaluasi perilaku energetik alat pertukaran massa dan/atau panas.

Dalam Pustaka-13, sebenarnya konsep ini telah digunakan, tanpa setiap kali perlu dieksplisitkan secara jelas. Misalnya, untuk mengevaluasi performansi energetik operasi pencampuran: secara difusi, secara konveksi, turbulen, dan secara elongasi viskos.

11 Daftar Pustaka

- [1] A.P. Colburn, "A method of correlating forced convection heat transfer data and a comparison with fluid friction", *Trans Am Inst Chem Eng*, 29, 1933, pp.174-210.
- [2] T.H. Chilton and A.P. Colburn, "Distillation and Absorption in Packed Columns A Convenient Design and Correlation Method." *Industrial & Engineering Chemistry* 27.3 (1935): 255-260
- [3] E. Plasari, R. David, and J. Villiermaux, "Micromixing phenomena in continuous stirred reactors using a Michaelis–Menten reaction in the liquid phase." *ACS Symp. Ser. Vol. 65*. 1978.
- [4] LeGoff, P., *Rev. Gen. Therm. France*, no 181, 1977, p. 15-28.
- [5] L.F., Moody, "Friction Factor for Pipe Flow", *Trans. Soc. Mech. Engrs*, 66,1944, pp. 671
- [6] S. Ergun, "Fluid flow through packed columns", *Chem. Eng. Progr*, 48, 1952, pp.89
- [7] S. Kaskas, *Berechnung der stationären und instationären Bewegung von Kugeln in ruhenden und strömenden Medien*, Diplomarbeit T.U. Berlin (1964)
- [8] O. Molerus, Communication no A-2, 'Transfer proceses in particle systems.' "European Congres" Nurenberg, 28-30 march, 1977.
- [9] A.S. Foust, L.A. Wenzel, C.W. Clump, L. Mans, and L.B. Andersen, "Principles of Unit Operations", J. Wiley, 1960.
- [10] J.A.. Rushton, E. Costich, H.J. Everett, "Power characteristics of mixing impellers. I", *Chem. Eng. Prog*, 46, 1950, pp. 395-467.
- [11] Le Lan, A., Angelino, H., First European Conference on Mixing and Centrifugation Separation, Sept 1974, BHRA England (paper no A2).
- [12] Nagata, S., "Mixing: principles and applications", Halsted Press, 1975.
- [13] LeGoff, P., Second European Conference on Mixing, BHRA England (paper no D1), April 1977,
- [14] LeGoff, P., *Energetique Industrielle*, tome 1, p. 191-210, Technique & Documentation, Paris, 1979.

Retrofit Sistem Pencampuran 2 Fluida Beda Warna Menggunakan Mikrokontroler

¹Triana, Y., ²Rosianah. A., ³Hersaputri, M., ⁴Hadisupadmo, S.

1,2 Program Studi D3 Metrologi Dan Instrumentasi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung

3 Pusat Tekonologi Instrumentasi dan Otomasi, ITB

4 Program Studi Teknik Fisika, ITB

megarini@instrument.itb.ac.id

Abstrak

Sejak abad ke-20 inovasi teknologi instrumentasi dan sistem kontrol berkembang dengan sangat cepat. Hal ini diikuti dengan berkembangnya karakter masyarakat yang memiliki mobilitas yang semakin tinggi. Masyarakat menginginkan layanan otomatis, mudah, fleksibel, efisien baik dalam biaya maupun waktu serta aman saat digunakan. Di insdustri saat ini terlebih minyak, cat, lem atau minuman telah dikembangkan proses otomasi pencampuran warna. Proses ini dapat menghasilkan pencampuran warna dan kekentalan.

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi kontrol otomasi pencampuran fluida beda warna (Simulator Fluid-mixing) dengan menggunakan mikrokontroler Program Arduino. Simulator fluid-mixing ini merupakan pengembangan simulator yang pernah dibuat (Dr. Eng. Edi Leksono, 2005). Program Arduino dapat diatur oleh operator dan simulator dapat menghasilkan campuran fluida warna.

Otomasi dari simulator fluid-mixing dirancang untuk memudahkan operator dalam melakukan simulasi. Pencampuran fluida dapat dilakukan untuk 2 warna dengan jenis fluida yang sama yaitu air. Terdapat 2 saklar sebagai pilihan program, program 1 (25% dan 50%) dan program 2 (50% dan 50%).

Perancangan simulator fluid-mixing dapat digunakan oleh Teknik Fisika ITB sebagai alat pembelajaran mahasiswa dalam melakukan proses simulator untuk pencampuran fluida beda warna.

kata kunci : Bahan Bakar Minyak, Principle Component Analysis, Back Propagation Neuron Networks.

penelitian ini akan dilakukan perancangan simulator. Simulator ini pernah dibuat (Dr. Eng. Edi Leksono, 2005), sebelumnya simulator menggunakan mikrokontroler PLC. Pada penelitian ini dilakukan simulasi kontrol otomasi pencampuran fluida beda warna dengan menggunakan mikrokontroler Program Arduino yang dapat diatur oleh operator dan simulator dapat menghasilkan campuran fluida dengan lebih praktis yang selanjutnya disebut simulator fluid-mixing. Simulator ini nantinya akan digunakan oleh Teknik Fisika ITB sebagai alat pembelajaran bagi mahasiswanya. Teknik Fisika ITB belum memiliki simulator untuk pencampuran fluida, karena untuk simulator fluid-mixing yang ada dipasaran dijual dengan harga yang relatif mahal. Oleh karena itu dibuatlah simulator fluid-mixing yang relatif lebih murah.

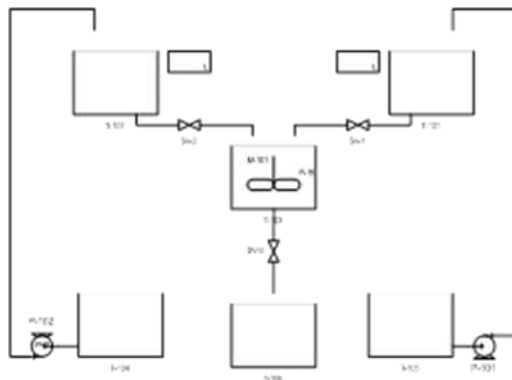
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat simulasi kontrol otomasi pencampuran warna, memudahkan user dalam menggunakan alat simulasi kontrol otomasi pencampuran warna serta sebagai simulator yang digunakan mahasiswa untuk alat pembelajaran

1 Pendahuluan

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan komoditas Sejak abad ke-20 inovasi di dalam teknologi instrumentasi dan sistem kontrol berkembang dengan sangat cepat. Hal ini diikuti dengan berkembangnya karakter masyarakat yang memiliki mobilitas semakin tinggi. Masyarakat menginginkan layanan otomatis, mudah, fleksibel, efisien baik dalam biaya maupun waktu serta aman saat digunakan. Dalam insdustri saat ini terlebih minyak, cat, lem atau minuman telah dikembangkan proses otomasi pencampuran warna. Proses ini dapat menghasilkan pencampuran warna dan kekentalan. Pada

2 Perancangan Sistem

Simulator fluid-mixing merupakan sebuah perangkat pelatihan yang menggunakan instrumentasi *control* untuk memudahkan penggunaan pada alat simulasi. Pada Gambar 1. adalah skematik dari *Simulator fluid-mixing* yang merupakan gambar rancangan yang menjelaskan proses yang terjadi pada pencampuran fluida. Sistem keseluruhan yang berhasil dibangun dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Skematik Simulator Fluid-Mixing

Pada Gambar 1 menjelaskan arah aliran fluida dari Tangki Reservoir 4 dan 5 (T-104 dan T-105) sampai Tangki Penyimpanan Hasil Akhir 6 (T-106). Fluida dipompa hingga mencapai volume tertentu di Tangki Bahan (T-101) dan 2 (T-102), kemudian dialirkan melalui *solenoid valve* 1 (SV-1) dan *solenoid valve* 2 (SV-2) menuju Tangki Penampung Hasil Pencampuran 3 (T-103). Pada Tangki Penampung Hasil Pencampuran fluida diaduk atau dimix beberapa saat baru setelah itu dialirkan kembali melewati *solenoid valve* 3 (SV-3) menuju tangki akhir 6 (T-106).



Gambar 2. Simulator Fluid-Mixing

Perancangan *simulator fluid-mixing* dimulai dari *solenoid valve* sampai dengan komponen-komponen yang lain akan merujuk pada spesifikasi dari *simulator fluid-mixing* ini. Dengan bukaan *solenoid valve* yang sama, akan membuat keluaran fluida menjadi stabil sehingga dapat diketahui berapa waktu yang dibutuhkan. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai *simulator fluid-mixing* adalah sebagai berikut :

Solenoid Valve

Komponen ini merupakan komponen penentu pemilihan komponen yang lain. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan alat simulasi kontrol otomasi, oleh karena itu dipilih *solenoid valve* ini. Hal ini disebabkan karena *solenoid valve* adalah valve yang mempunyai spesifikasi khusus. Pemilihan komponen selanjutnya ditentukan oleh pemilihan awal dari tipe *solenoid valve* ini, tipe *solenoid valve* yang digunakan adalah *solenoid valve* VX2130S untuk tipe fluida air. *Solenoid valve* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Solenoid Valve VX2130S

Dalam penelitian ini *solenoid valve*, berfungsi sebagai valve otomatis yang bekerja mengalirkan fluida dari tangki level switch 1 (T-101) dan 2 (T-102) menuju tangki pencampuran (T-103) dan dari tangki pencampuran 3 (T-103) menuju tangki akhir 6 (T-106). Gerak dari *solenoid valve* diatur melalui Program Arduino dengan bukaan valve *full open* dan *full close*. Karena bukaan dari *solenoid valve* *full open* dan *full close*, menggunakan pipa dari bahan plat anti karat dengan lingkaran $\frac{1}{2}$ inch, aliran dari *solenoid valve* ini stabil. Hal ini memudahkan dalam pembuatan program pada Arduino.

Pompa

Pompa yang digunakan ada dua buah pompa 1 (P-101) dan pompa 2 (P-102) dengan tipe yang berbeda. Setelah dilakukan percobaan, meskipun kecepatan aliran fluida tidak sama namun spesifikasi dari kedua pompa ini tidak jauh berbeda sehingga masih dapat digunakan. Pompa yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Pompa 1 (P-101)



Gambar 5. Pompa 2 (P-102)

Pompa 1 (P-101) berfungsi memindahkan fluida dari Tangki Reservoir (T-105) menuju Tangki Bahan (T-101) melalui pipa stainless yang berdiameter $\frac{1}{2}$ inch. Sedangkan Pompa 2 (P-102) yang berfungsi memindahkan fluida dari Tangki Reservoir (T-104) menuju Tangki Bahan (T-102), juga sama halnya dengan Pompa 1, memindahkan melalui pipa berdiameter $\frac{1}{2}$ inch.

Mixer

Mixer disini sebenarnya bukanlah mixer yang biasa dipakai untuk membuat kue, tetapi *mixer* disini adalah motor/dinamo yang dipasangkan baling-baling, sehingga motor tersebut berfungsi sebagai *mixer* pengaduk fluida. Gambar *mixer* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Mixer (M-101)

Mixer (M-101) berfungsi mengaduk fluida yang dilalirkan dari Tangki Bahan (T-101) dan (T-102) ke Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103).

Gambar a. memperlihatkan *mixer* bagian tampak atas yang terdapat motor. Sedangkan Gambar b. memperlihatkan *mixer* bagian bawah atau dalam Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103) yang berbentuk baling-baling.

Tangki

Pada alat simulator ini, terdapat 4 jenis Tangki yang digunakan dengan total keseluruhan 6 tangki.



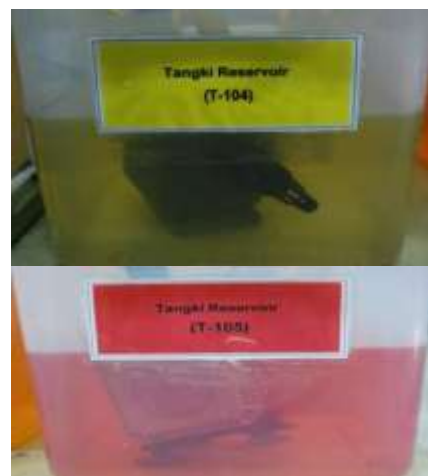
Gambar 7. Simulator fluid-mixing

Tangki-tangki yang terdapat dalam alat ini adalah :

1. Tangki Reservoir (T-104) dan (T-105)
2. Tangki Bahan (T-101) dan (T-102)
3. Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103)
4. Tangki Penyimpanan Hasil Akhir (T-106)

Penjelasan mengenai jenis-jenis yang terdapat pada simulator fluid-mixing adalah sebagai berikut:

Tangki Reservoir (T-104) dan (T-105) berfungsi sebagai penyimpanan awal.



Gambar 8. Tangki Reservoir pada *simulator fluid-mixing*
a. Reservoir Kuning (T-104) b. Reservoir Merah (T-105)

Tangki Bahan (T-101) dan (T-102) berfungsi sebagai Tangki penyimpanan sebelum dicampurkan dan disimpan di Tangki Penyimpanan Hasil Akhir (T-106).



Gambar 9. Tangki Bahan pada *simulator fluid-mixing*
Tangki Bahan (T-101) b. Tangki bahan (T-102)

Tangki Pencampuran (T-103) berfungsi sebagai Tangki yang digunakan ketika 2 fluida yang berbeda warna dari Tangki (T-101) dan (T-102) untuk diaduk oleh *mixer* (M-101).



Gambar 10. Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103)

Tangki Penyimpanan Hasil Akhir (T-106) berfungsi sebagai Tangki Penyimpanan hasil 2 fluida warna yang sudah diaduk oleh *mixer* yang dipindahkan dari Tangki (T-103).



Gambar 11. Tangki Penyimpanan Hasil Akhir (T-106)

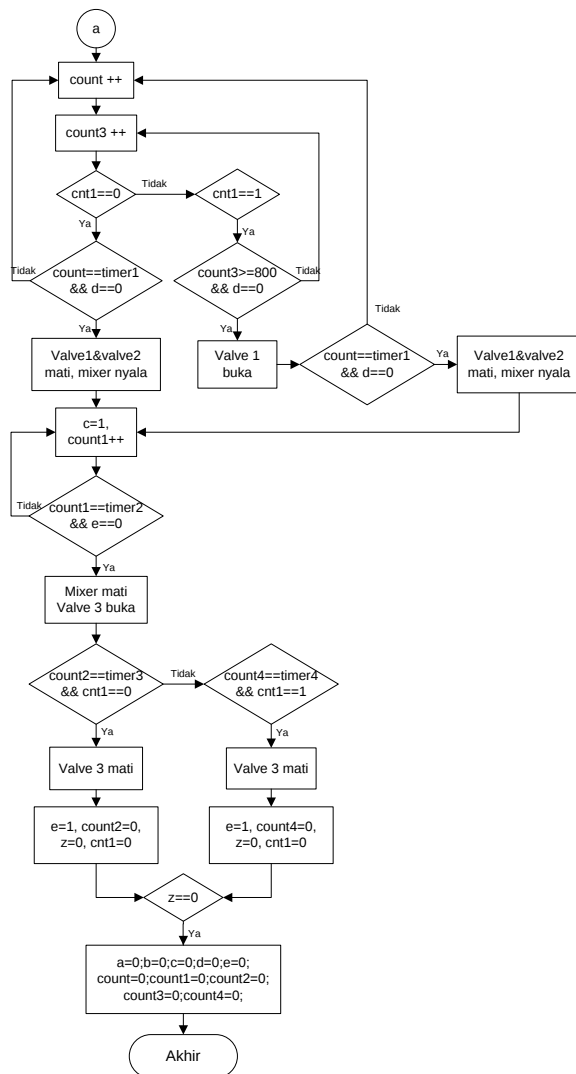
Sensor Level

Sensor yang digunakan dalam alat ini, adalah sensor *deepstick*, terdiri dari 2 buah batang berbahan *stainless*, batang satu berfungsi sebagai GND dan yang satu berfungsi sebagai sensor pendeteksinya. Ketika air yang disalurkan Pompa (P-101) dan (P-102) dari Tangki Reservoir (T-104) dan (T-105) menuju Tangki Bahan (T-101) dan (T-102) dan air tersebut sudah mencapai ketinggian atau volume yang ditentukan. Maka sensor akan mendeteksi dan memberikan input kepada Arduino untuk menghentikan Pompa (P-101) dan (P-102).

Proses Pada Simulator fluid-mixing

Simulator fluid-mixing yang dirancang merupakan sebuah alat simulasi untuk pencampuran fluida beda warna dengan kontrol otomasi. Proses yang terjadi pada simulator fluid-mixing bermula dari diberikannya input saklar (1 atau 2) yang akan memberikan informasi kepada Arduino untuk memberikan perintah berupa lama bukaan dari keluaran *solenoid valve*. Setelah input saklar diberikan, fluida berupa air berwarna yang tertampung pada Tangki Reservoir (T-104 dan T-105), air tersebut diambil dan didorong dialirkan menggunakan Pompa (P-101 dan P-102) menuju Tangki Bahan (T-101 dan T-102). Tangki Bahan 1 (T-101) berisi air dengan warna merah sedangkan untuk Tangki Bahan 2 (T-102) berisi air dengan warna kuning. Dalam tangki bahan terdapat sensor level, dengan ketinggian tertentu dan air menyentuh sensor tersebut maka sensor akan mendeteksi dan memberikan input kepada Arduino untuk menghentikan Pompa (P-101) dan (P-102). Disaat yang bersamaan Arduino juga mengirimkan perintah untuk membuka *Solenoid valve* (SV-1 dan SV-2).

Diawal perintah, terdapat 2 perintah yang akan membedakan lama bukaan dari *solenoid valve*. Perintah pertama yaitu 25% dan 50%, artinya pada tangki bahan 1 (T-101) akan mengalirkan fluida $\frac{1}{2}$ dari volume maksimumnya atau 25% dari volume total pada Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103) dan pada Tangki Bahan 2 (T-102) akan



Gambar 14. Diagram alir Arduino (lanjutan)

3 Implementasi Sistem

Persiapan Hardware

Sambungkan kabel terminal yang terpasang pada papan alat ke sumber tegangan 220v-230v. Kemudian setelah kabel terminal telah terpasang, hubungkan steker yang terhubung dengan MCB (miniatur circuit breaker) ke terminal steker yang terpasang pada papan simulator fluid-mixing atau dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Steker MCB ke terminal steker

Rubah posisi MCB pada posisi ON.



Gambar 16.. MCB (Mini Circuit Breaker)

Ketika alat sudah dipastikan mendapatkan arus dan tegangan dan MCB sudah posisi ON. Setelah itu rubah atau tekan saklar utama dalam keadaan ON yang terdapat pada bagian depan simulator fluid-mixing.



Gambar 17. Saklar Utama pada simulator fluid-mixing

Setelah MCB dan saklar utama sudah dalam posisi ON, maka alat siap untuk diuji atau digunakan. Sebelumnya untuk memulai menjalankan alat simulator, pilih saklar kecil yang terdapat pada bagian depan simulator fluid-mixing. Kedua saklar kecil adalah saklar pilihan perintah program yang akan menggerakkan alat simulator. Pilih salah satu saklar kecil tersebut, sebagai contoh dipilih saklar kecil pada bagian bawah seperti terlihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Saklar utama dan saklar program 1 & 2

Running Program

Pada percobaan dalam penelitian ini, diambil contoh program 2 yaitu 50% dan 50%. Program ini artinya, pada Tangki Bahan 1 (T-101) dan Tangki Bahan 2 (T-102) akan mengalirkan semua fluida warna yang ada pada Tangki Bahan atau 50% dari volume total Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103). Perbedaan dengan program

1 adalah pada Tangki Bahan 1 (T-101) akan mengalirkan fluida warna hanya $\frac{1}{2}$ dari volume maksimumnya atau 25% dari volume total pada Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103) dan pada Tangki Bahan 2 (T-102) akan mengalirkan semua fluida yang ada pada Tangki Bahan tersebut atau 50% dari volume totalnya.



Gambar 19. Saklar 2 (50% dan 50%)

Setelah memilih program 2 untuk dijalankan, komponen pertama yang bekerja ialah Pompa 1 (P-101) dan Pompa 2 (P-102), memindahkan fluida dari Tangki Reservoir (T-104) dan (T-105) menuju Tangki Bahan (T-101) dan (T-102) melalui pipa stainless yang berdiamater $\frac{1}{2}$ inch.

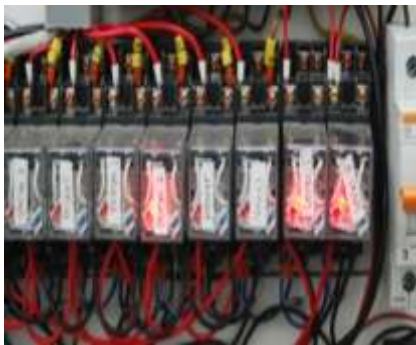


Gambar 20. Proses aliran fluida warna pada Simulator fluid-mixing

Pompa 1 (P-101) dan Pompa 2 (P-102) akan berhenti bekerja setelah fluida mengisi Tangki Bahan (T-101) dan (T-102) dan menyentuh sensor level, dapat dilihat pada Gambar 21. dan tampilan relay seperti pada Gambar 22.



Gambar 21. Tangki Bahan Terisi



Gambar 22. Relay Sensor Level ON

Setelah sensor level bekerja dengan menyentuh sensor level tersebut, maka solenoid valve (SV-1) dan (SV-2) secara otomatis akan membuka. Valve ini membuka untuk mengalirkan fluida dari Tangki Bahan (T-101) dan (T-102) ke Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103). Tampilan relay seperti pada Gambar 23.



Gambar 23. Relay solenoid valve 1 & 2 ON

Setelah semua fluida dari Tangki Bahan (T-101) dan (T-102) habis dan mengisi penuh Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103), solenoid valve (SV-1) dan (SV-2) akan berhenti bekerja. Kemudian mixer akan bekerja, bekerjanya mixer berfungsi sebagai pengaduk kedua fluida yang berbeda warna. Dapat dilihat pada Gambar 10. dengan kondisi relay mixer ON pada Gambar 11.



Gambar 24. Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103)

terisi penuh dan diaduk oleh mixer.



Gambar 25. Relay mixer ON

Selanjutnya setelah mixer berhenti mengaduk campuran fluida warna, maka dalam 3 detik Relay solenoid valve (SV-3) akan ON. Solenoid valve (SV-3) akan bekerja sehingga membuka dan mengalirkan hasil campuran 2 fluida warna yang sudah diaduk dan tercampur oleh mixer dari Tangki Penampung Hasil Pencampuran (T-103) menuju Tangki Penyimpanan Hasil Akhir (T-106) hingga mengisi penuh Tangki Penyimpanan Hasil Akhir (T-106). Seperti yang terlihat pada Gambar 26.



Gambar 27. Tangki Penyimpanan Hasil Akhir terisi penuh (tengah).

Dengan kondisi *relay solenoid valve* (SV-3) ON pada **Gambar 28**.



Gambar 28. Relay solenoid valve (SV-3) ON

4 Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengerjaan penelitian ini, dapat disimpulkan :

Simulator fluid-mixing yang dibangun memiliki harga yang lebih murah dengan pemilihan komponen-komponen yang mendukung.

Pencampuran bisa dilakukan untuk 2 jenis warna dengan jenis fluida yang sama yaitu air.

5 Daftar Pustaka

- [1] [1] Hadisupadmo, Sutanto. Diktat Kuliah : Gambar Instrumentasi (P&ID) dan Sistem Pneumatik & Hidrauli. Departemen Teknik Fisika. Institut Teknologi Bandung, 2011.
- [2] [2] Periwani, Perancangan Dan Implementasi Simulator Flow Trainer Untuk Menentukan Karakteristik Flow Metering Dengan Metode Obstruction, Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung, 2010.
- [3] [3] Sloop, Paul.B.Zbar-Joseph, Dasar – Dasar Listrik dan Elektronika, Edisi ke Empat, SMK Negeri 1 Cimahi, 2009

Perancangan Early Warning System Kondisi Cuaca Variabel Kelembaban Lingkungan Pencegahan Kecelakaan Transportasi Kereta Api Akibat Banjir Skala laboratorium

¹Fatah Suleman, ²Alimuddin*, ³Rahman Abdullah, ²Teguh Firmansyah, ²Mardiono

¹Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

²Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

³Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

(cooresponding author) E-mail alimuddineuntirta@yahoo.com*)

Abstrak

Kereta api adalah salah satu jenis transportasi darat yang cukup diminati masyarakat Indonesia dengan jumlah penumpang yang cukup tinggi. Kereta api di Indonesia sudah ada sejak 138 tahun yang lalu. Jaringan kereta api di Indonesia sebagian besar merupakan peninggalan jaman belanda meliputi lintasan sepanjang 6482 km yang tersebar di Jawa dan Sumatra. Permasalahan kereta api di daerah ibukota yang rawan kecelakaan akibat banyak faktor. Salah satu tantangan mobilitas kereta api sendiri adalah terhambatnya perjalanan diakibatkan banjir rmenggenangi rel kereta, atau yang lebih parahnya lagi jika terjadinya kecelakaan akibat adanya air yang menggenangi di rel kereta api, tujuan penelitian ini adalah untuk membuat system peringatan dini bencana banjir yang mudah dioperasikan dan efektif untuk mendeteksi banjir. System menggunakan mikrokontroler ATmega328 dengan sensor ultrasonic sebagai sensor pendeteksi level ketinggian air dan menggunakan sensor kelembaban untuk peramalan cuaca, dilengkapi dengan pengiriman data banjir dan cuaca menggunakan Short message service (SMS). System menggunakan bahasa pemrograman arduino. dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa system peringatan dini (Early Warning System) bekerja secara realtime dan efektif dengan respon pembacaan kurang dari 1 detik, rata-rata error pembacaan sensor ultrasonic adalah 0 - 1,14% dan rata-rata error pembacaan kelembaban pagi, siang sore 4,06%..

Kata kunci : mikrokontroler, sensor kelembaban, banjir, sistem peringatan dini.

Abstract

The train is one type of ground transportation are quite interested in Indonesian society with a high enough number of passengers. Train in Indonesia has existed since 138 years ago. Railway network in Indonesia is largely a relic of the Netherlands covering the path along the 6482 km spread across Java and Sumatra. Permasalahan train accident-prone areas of the capital as a result of many factors. One of the challenges of mobility train itself is the inhibition of the trip due to flooding rmenggenangi rail, or even worse if the accident due to the stagnant water in the railway, the purpose of this study was is to create an early

warning system of floods are easy to operate and effective for detecting flooded. System using microcontroller ATmega328 with ultrasonic sensors as sensors detecting water levels and use a humidity sensor for weather forecasting, equipped with flood and weather data transmission using the Short Message Service (SMS). System uses arduino programming language. of the results of this study concluded that an early warning system (Early Warning System) works in realtime and effective response of less than 1 second readings, the average error ultrasonic sensor reading is 0 to 1.14% and the average error morning humidity readings, 4.06% during the afternoon

Keywords: early warning systems, microcontroller, humidity sensors, flood .

1 Pendahuluan

Dalam upaya mengurangi/menurunkan tingkat kecelakaan dari sektor transportasi kereta api, pemerintah terus berupaya secara bertahap membenahi sistem keselamatan dan keamanan transportasi kereta api menuju kondisi zero to accident. Upaya yang dilakukan pemerintah tidak saja bertumpu kepada penyediaan fasilitas keselamatan dan keamanan namun peningkatan kualitas SDM transportasi, pembenahan regulasi di bidang keselamatan/keamanan maupun sosialisasi kepada para pemangku kepentingan.

Transportasi kereta api diselenggarakan dengan tujuan untuk mewujudkan lalu lintas dan angkutan kereta api yang selamat, aman, cepat, lancar, tertib dan teratur, nyaman dan efisien, mampu untuk menunjang pemerataan, pertumbuhan dan stabilitas sebagai pendorong, penggerak dan penunjang pembangunan nasional dengan biaya yang terjangkau oleh daya beli masyarakat. Moda transportasi kereta api merupakan salah satu angkutan yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat terutama masyarakat perkotaan yang mobilitasnya cukup tinggi. Seiring dengan pertumbuhan jumlah pengguna dan perkembangan teknologi perkeretaapian, saat ini tidak diimbangi dengan pertumbuhan jalan kereta

dan peningkatan sumber daya manusia pendukungnya. Dengan kekurangan tersebut memunculkan berbagai permasalahan angkutan perkeretaapian diantaranya adalah keterlambatan, gangguan keamanan dan keselamatan perjalanan. Angkutan perkeretaapian sangat dipengaruhi oleh faktor disiplin pelaku transportasi, perangkat peraturan yang jelas serta fasilitas pendukung penyelenggaraan transportasi itu sendiri. Fasilitas-fasilitas dimaksud meliputi rambu, persinyalan, persimpangan sebidang, prasarana jalan rel dan lain sebagainya. (Anonim, 2006)

Sistem peringatan dini pencegah kecelakaan kereta api atau secara umum disebut dengan istilah *early warning device* perlu dibangun mengingat berbagai macam jenis bencana alam sangat sering terjadi di Indonesia. Hal ini dikarenakan dan terkait dengan keadaan dan kondisi alam di Indonesia ini. (Abdullah R, 2012).

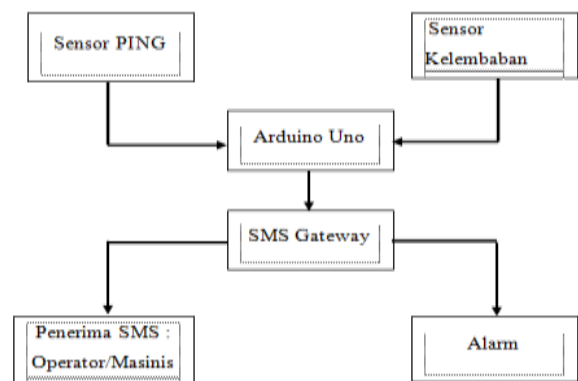
Untuk mengurangi tingginya resiko kecelakaan kereta api maka dibutuhkan suatu pengembangan teknologi yang dapat mengantisipasi terjadinya kecelakaan. Kecenderungan (Trend) kecelakaan kereta api sendiri lima tahun terakhir (tahun 2007 s/d Tahun 2011) menunjukkan mengalami penurunan. Angka kecelakaan pada awal tahun 2007 tercatat mencapai 159 kejadian kecelakaan dan menurun hingga mencapai 55 kejadian kecelakaan pada tahun 2011. Namun berdasarkan korban kecelakaan kereta api selama 5 (lima) tahun terakhir belum menunjukkan penurunan, melainkan memberikan kecenderungan (trend) jumlah korban fluktuatif (Hermanto P, 2013). Adapun penelitian sebelumnya secara umum Mendeteksi peringatan banjir melalui mikrokontroler, sensor jarak, sensor cuaca, SMS menggunakan secara real time belum dihubungkan dengan obyek kereta api

2 Metode

Perancangan *hardware early warning system* merupakan bagian inti dari semua perancangan dimana disini terletak otak dari *hardware* yakni mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan di *hardware* ini adalah mikrokontroler arduino uno dengan bahasa program berbasis bahasa C sebagai pembangun sistemnya, dimana mikrokontroler harus di koneksi ke PC atau laptop untuk *downloading* program menggunakan kabel *usb serial*. *Hardware* juga menggunakan sensor ultrasonik tipe PING parallax yang mampu mendeteksi jarak objek dibawah 1 detik dengan pembacaan yang akurat. Pada sector sensor suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT11, dimana sensor ini akan membaca suhu dan kelembapan sekitar secara *realtime* dan

ditampilkan secara *realtime* di serial monitor, sensor ini berjenis digital yang juga mampu memberikan *output* data ke LCD atau *seven segmen*, namun pada perakitan *hardware early warning system* tidak menggunakan LCD maupun *seven segmen* di dalam alat.

Mikrokontroler arduino terhubung dengan sensor ultrasonik (PING) sebagai alat untuk mengukur jarak ketinggian level air dan sensor suhu dan kelembapan sebagai alat untuk mengukur suhu dan kelembapan cuaca. Pemrosesan data berupa ketinggian, suhu dan kelembapan dilakukan oleh mikrokontroler sesuai perintah yang diinginkan oleh *user*, setelah itu data akan dikirimkan berupa SMS Gateway melalui modem GSM jika terjadi banjir, dan alarm berupa LED akan menyala sebagai indikator terjadinya banjir.



Gambar 1. Perancangan EWS Kereta Api

Instrumen yang digunakan terdiri dari: Mikrokontroler, arduino uno, Modem GSM, Sensor ultrasonik (PING), Sensor DHT11, Kabel *converter* serial to USB DB9 male pin. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 10 april sampai dengan September 2015 di Laboratorium Kendali Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pengujian juga dilakukan di gedung COE Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

3 Hasil Dan Pembahasan

Pada pengujian sensor untuk nilai kelembapan sedikit berbeda, secara *realtime* data nilai tidak berubah atau konstan namun memiliki nilai error dibawah 5 % meskipun agak sedikit lebih besar dari nilai suhu namun masih dapat dikatakan kinerja sensor untuk membaca kelembapan masih baik karena nilai error tidak melewati batas toleransi error sebesar 5 %.

Tabel 1. Sensor Kelembaban

	Sensor (DHT11) ^o C	Kelembaban (RH %)	Error (%)
Pagi	54	56	3,7%
Siang	57	59	3,5%
Sore	40	42	5%

Pada gambar diatas, Pengujian dilakukan dengan memasang sistem peringatan dini bencana banjir pada wadah tempat air sebagai visualisasi bencana banjir buatan, Untuk memantau kondisi ketinggian air dengan menyesuaikan terhadap aspek pengujian. Keterangan dari setiap komponen gambar sebagai berikut,

1. Sensor ultrasonik
2. Serial RS232
3. Sensor suhu dan kelembapan DHT11
4. Antena modem GSM
5. Rumah box *hardware*
6. Wadah banjir buatan
7. Air

Pengamatan dilakukan dengan cara mengamati jarak sensor ke permukaan air, mengamati keadaan cuaca, lama pengiriman pesan (SMS) dan isi pesan SMS sesuai atau tidak dengan kondisi pembacaan sensor-sensor.



Gambar 2. Implementasi Hardware EWS Terhadap Kereta Api Mini

Pada gambar 2 diatas adalah implementasi hardware dengan rel kereta api. Dimana penempatan kereta api berada pada pinggiran wadah dan tidak menghalangi sensor dalam pembacaan level ketinggian air. Keterangan gambar : 1. Rel kereta, 2. RS232, 3. Wadah, 4. Sensor ultrasonic, 5. Power supply, 6. DHT11, 7. Antenna. Kereta api yang digunakan adalah kereta api mini dengan pengujian skala laboratorium. Pengujian dilakukan dengan kereta api berjalan otomatis dan pemberhentian secara manual, artinya ketika ada bahaya banjir maka pemberhentian kereta menggunakan *manual*

stopping atau memberhentikan kereta api mini dengan tangan.

Tabel 2. Pengujian Hardware Early Warning System Kecelakaan Akibat Banjir Pada Kereta Api Miniatur Menggunakan Beberapa Provider Yang Berbeda

TELKOMSEL				
Ketinggian	Kelembaban rendah	Peringatan SMS ke operator /Masinis	Waktu Tempuh SMS	Isi Pesan SMS
24 Cm			5,93 detik	Status : AWAS Level air : 24 cm Cuaca : Kelembaban rendah
20 Cm			5,46 detik	Status : WASPADA Level air : 20 cm Cuaca : Kelembaban rendah
10 Cm			5,59 detik	Status : BANJIR Level air : 10 cm Cuaca : Kelembaban rendah
Ketinggian	Kelembaban tinggi	Peringatan SMS ke operator /Masinis	Waktu Tempuh SMS	Isi Pesan SMS
24 Cm			5,32 detik	Status : AWAS Level air : 24 cm Cuaca : Kelembaban tinggi
20 Cm			5,53 detik	Status : WASPADA Level air : 20 cm Cuaca : Kelembaban tinggi
10 Cm			5,09 detik	Status : BANJIR

Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015
Bandung, Indonesia, 10-11 Desember 2015

				Level air :10 cm Cuaca : Kelembaban tinggi
--	--	--	--	--

XL AXIATA				
Ketinggian	Kelembaban rendah	Peringatan SMS ke operator / Masinis	Waktu Tempuh SMS	Isi Pesan SMS
24 Cm			6,22 detik	Status : AWAS Level air : 24 cm Cuaca : Kelembapan rendah
20 Cm			5,78 detik	Status : WASPADA Level air : 10 cm Cuaca : Kelembapan rendah
10 Cm			5,99 detik	Status : BANJIR Level air : 10 cm Cuaca : Kelembapan rendah
Ketinggian	Kelembaban tinggi	Peringatan SMS ke operator / Masinis	Waktu Tempuh SMS	Isi Pesan SMS
24 Cm			5,88 detik	Status : AWAS Level air : 24 cm Cuaca : Kelembapan tinggi
20 Cm			5,33 detik	Status : WASPADA Level air : 20 cm Cuaca : Kelembapan tinggi
10 Cm			5,42 detik	Status : BANJIR Level air : 10 cm Cuaca : Kelembapan tinggi

4 Kesimpulan

Adapun kesimpulan adalah : Pertama, *Early warning system* kecelakaan akibat banjir menggunakan mikrokontroler sebagai otak keseluruhan system untuk menentukan pembacaan sensor ultrasonic terhadap permukaan air dan pembacaan sensor suhu dan kelembapan untuk informasi cuaca secara *realtime*. Menggunakan SMS sebagai output atau peringatan dini bahaya banjir dengan pengujian 2 provider GSM yang berbeda. Kedua, *Early warning system* kecelakaan akibat banjir ini berjalan dengan baik dan efektif untuk digunakan terutama di jalur perkeretaapian di Indonesia. Ketiga, System melakukan pembacaan kondisi permukaan air secara *realtime* dan kecepatan rata-rata pengiriman SMS semua provider ke operator atau masinis oleh *early warning system* kecelakaan akibat banjir melalui modem GSM dibawah 7 detik, system berjalan dengan cepat, tepat dan efisien. Keempat, Hasil pengujian rata-rata persentase kesalahan (*error*) pada pembacaan sensor ultrasonic berkisar antara 0 - 1,14 % dan persentase kesalahan pada sensor kelembapan masih dibawah 5 %.

5 Saran

Untuk melanjutkan penelitian ini, peneliti mempunyai beberapa saran pengembangan penelitian yaitu Penelitian ini bisa dikembangkan dengan meminta informasi ketinggian permukaan air dengan format sms tertentu karena penelitian ini sudah menggunakan modem khusus.

6 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada DIKTI atas pembiayaan penelitian pada skim Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) kepada peneliti 2015-2016

7 Daftar Pustaka

- [1] Buku Putih Indonesia 2005-2025. (2006). Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Teknologi dan Manajemen Transportasi, Jakarta.
- [2] Abdullah Rahman, 2012, Perencanaan Tata Ruang Siaga Bencana Terhadap Bencana Terusan Industri, Prosiding, Seminar Nasional Mitigasi Bencana Terhadap Turunan Bencana, Cilegon
- [3] Hermanto Dwiarmoko (2013). Keselamatan Fasilitas Operasi Kereta Api Jakarta, Penerbit
- [4] Kencana Prenada Media Group

- [5] Putranto, hanung (2010) System Deteksi Dan Peringatan Dini Bencana Alam Banjir Berbasis Mikrokontroller Atmega 8535 Dan Sms Gateway Dialirain Sungai Code., JTI, STMIK Amikom, Yogyakarta
- [6] Nur Octarina, (2013) Implementasi System Sensor Sederhana Untuk Peringatan Banjir melalui SMS., S1, Universitas Al-azhar Indonesia
- [7] Scifo, frans (2013) Monitoring Level Air Dan Peringatan Dini Bahaya Banjir Berbasis Sms., S1., Universitas Diponegoro
- [8] Sumarno, (2013) System Peringatan Dini Bencana Banjir Berbasis Mikrokontroller Atmega 16 Dengan Buzzer Dan Short Message Service., FMIPA Universitas Tanjung Pura
- [9] Alimuddin, Anggoro Suryo Pramudyo, Eko Hadi Santoso, Rancang Bangun Sistem Monitoring Jarak Jauh Tinggi Permukaan Air Berbasis SMS, Prosiding Seminar Nasional SMAP 2014 Jurusan Teknik Elektro Universitas Mercubuana Jakarta.

Studi Rekonstruksi Permukaan Wajah Secara 3-Dimensi Menggunakan Metode Profilometri Frinji Digital

^{1,2}Khawarizmi, Ryan Muhammad, ^{1,2}Wisesa, Alvin Ekaputra, ^{1,2}Suprijanto, & ^{1,3}Juliastuti, Endang

¹Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

²Laboratorium Instrumentasi Medik, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

³Laboratorium Instrumentasi Optik, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

rkhawarizmi@gmail.com, levrias@gmail.com, supri@tf.itb.ac.id, yulias@tf.itb.ac.id

Abstrak

Profilometri frinji digital merupakan sistem pengukuran kedalaman dan rekonstruksi secara 3-dimensi menggunakan cahaya berpola yang diproyeksikan pada obyek uji. Profilometri frinji digital menggunakan informasi deformasi fasa akibat bentuk obyek sebagai besaran yang diukur untuk rekonstruksi obyek. Pada penelitian ini, sistem profilometri frinji digital terdiri dari sebuah proyektor Digital Light Processing (DLP) untuk proyeksi pola frinji dan kamera digital sebagai perangkat perekaman citra obyek. Kemudian akan dilakukan konversi besaran fasa pada hasil rekonstruksi menjadi besaran kedalaman pada skala metrik.

Penelitian awal dilakukan untuk mencoba konfigurasi sistem profilometri frinji digital untuk berbagai jenis obyek 3-dimensi menggunakan berbagai tipe frekuensi. Hasil penelitian awal memberikan bahwa konfigurasi dapat merekonstruksi berbagai jenis obyek 3-dimensi dengan frekuensi frinji optimum senilai 7 cycle/100 piksel. Implementasi pada wajah manusia dilakukan pada dua naracoba yaitu naracoba A dan B dengan area uji akurasi berada pada daerah hidung. Ketelitian pengukuran kedalaman hidung antara hasil rekonstruksi dan ukuran aslinya mencapai 90% untuk naracoba A dan 88% untuk naracoba B. Analisa kualitatif terhadap bentuk hasil rekonstruksi wajah juga dilakukan untuk menilai proporsionalitas terhadap wajah sebenarnya. Berdasarkan analisa kualitatif dan kuantitatif, teknik profilometri frinji digital memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai cara pengukuran serta rekonstruksi profil permukaan wajah.

Kata Kunci : *rekonstruksi wajah 3-dimensi, profilometri frinji digital, phase shifting interferometry, phase unwrapping*

Prinsip identifikasi individu menggunakan facial recognition adalah pemrosesan citra wajah 2-dimensi. Citra wajah direkam oleh kamera kemudian diproses menandai fitur-fitur penting yang menjadi ciri khas. Proses identifikasi dilanjutkan dengan menganalisa kecocokan fitur-fitur penting tersebut dengan referensi asli pada database[2].

Sistem facial recognition dapat ditingkatkan ketelitiannya dengan adanya informasi kedalaman wajah. Secara tidak langsung, untuk mengukur ukuran kedalaman wajah, diperlukan proses rekonstruksi wajah secara 3-dimensi. Metode rekonstruksi permukaan wajah berbasis pada teknik pemindaian memanfaatkan sifat-sifat optis. Contohnya adalah teknik time of flight, pola moire, stereo-vision, pemindaian laser, dan interferometri[3].

Profilometri frinji digital adalah teknik pemindaian obyek secara 3-dimensi yang merupakan pengembangan dari interferometri yang menggunakan pola gelap-terang atau biasa disebut sebagai pola frinji. Pola frinji dengan kerapatan tertentu akan diproyeksikan ke obyek lalu akan direkam citranya oleh kamera. Citra hasil perekaman kemudian akan diolah oleh pemroses data menjadi sebuah bentuk 3-dimensi yang menyerupai obyek aslinya. Makalah ini lebih lanjut akan memaparkan penggunaan profilometri frinji digital untuk merekonstruksi permukaan wajah manusia secara utuh

1 Pendahuluan

Wajah memiliki profil permukaan yang unik karena terdiri dari berbagai bagian penyusun yang berbeda antara satu bagian dengan bagian yang lain. Bagian-bagian penyusun wajah yang mudah diamati adalah mata, hidung dan mulut[1]. Bagian-bagian ini menjadi sebuah fitur penting agar mesin atau komputer dapat menganalisa kesesuaian wajah. Proses ini biasa disebut sebagai biometrik dengan metode facial recognition.

2 Metode Perancangan

2.1 Rancangan Umum

Awalnya, pola frinji dibuat menggunakan program pembangkit pola frinji. Kemudian frinji akan diproyeksikan menggunakan proyektor DLP. Proyeksi frinji dilakukan dengan 4 buah pola frinji yang berbeda fasa masing-masing sebesar $\frac{\pi}{2}$ radian. Untuk setiap proyeksi dilakukan perekaman citra oleh kamera digital. Informasi

profil obyek diperoleh setelah dilakukan pengolahan pada keempat citra hasil perekaman dengan PSI (Phase Shifting Interferometry) 4-step yang mengubah citra akuisisi dari besaran intensitas menjadi besaran fasa dalam bentuk citra fasa terlipat (wrapped phase). Kemudian dilakukan pemilihan ROI (Region of Interest) dan proses pembukaan lipatan fasa (phase unwrapping) untuk memperoleh informasi fasa sesungguhnya atau fasa absolut dari citra fasa terlipat. Namun sebelum dilakukan proses Phase Unwrapping dilakukan perlu dilakukan estimasi kualitas fasa. Estimasi kualitas fasa ditujukan untuk mengetahui informasi keseluruhan dari citra fasa serta melakukan penapisan terhadap noise yang ada. Phase unwrapping yang digunakan berbasis metode global unwrapping yang dapat mengolah citra secara cepat[4]. Metode Phase Unwrapping tersebut adalah PUMA (Phase Unwrapping Max-Cut)[5]. Terakhir, informasi fasa absolut tersebut direkonstruksi menjadi profil 3 dimensi dari obyek dan dilakukan konversi besaran fasa menjadi kedalaman untuk dibandingkan dengan profil obyek riil. Gambar 1 dibawah mengilustrasikan diagram alir proses rekonstruksi permukaan wajah secara 3-dimensi

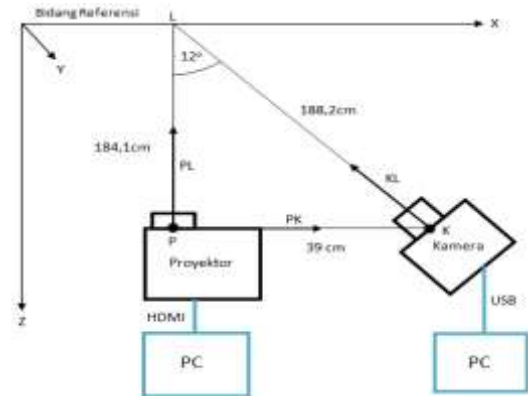


Gambar 1. Diagram alir penelitian profilometri frinji digital untuk rekonstruksi profil permukaan wajah secara 3-dimensi

2.2 Rancangan Perangkat

Sistem perangkat terdiri secara umum dari kamera digital, proyektor, dan komputer pengolah data. Konfigurasi sistem perangkat keras yang dirancang adalah jarak antara perangkat-perangkat pengukuran dengan obyek ukur. Proyektor diletakkan sejauh 184,1 cm dari latar secara tegak lurus. Kamera ditempatkan sejauh 188,2 cm terukur dari titik tengah gambar proyeksi dari proyektor. Jarak antara proyektor dengan kamera adalah 39 cm sehingga membentuk segitiga siku-siku sehingga memenuhi syarat triangulasi dengan sudut antara sebesar 12° .

Sudut antara kamera digital dan proyektor optimum berada pada rentang $10-15^\circ$ untuk mengurangi efek bayangan pada obyek[6]. Susunan perangkat-perangkat keras pada sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Perangkat Keras Sistem

Pengaturan cahaya pada ruang dan parameter pada perekaman sangat memengaruhi kualitas rekonstruksi obyek. Citra direkam pada kondisi ruang gelap agar citra yang diolah murni hanya citra frinji yang mengalami deformasi dari obyek. Perekaman citra dengan kondisi ruang bercahaya akan mengganggu pemrosesan citra selanjutnya. Parameter-parameter kamera kemudian diatur untuk mendapatkan citra obyek yang fokus. Parameter yang diatur adalah ISO sebesar 400, bukaan kamera sebesar $f/14$, dan shutter time selama 0,5 s. Contoh citra terekam dari obyek rekonstruksi dapat dilihat pada Gambar 3.

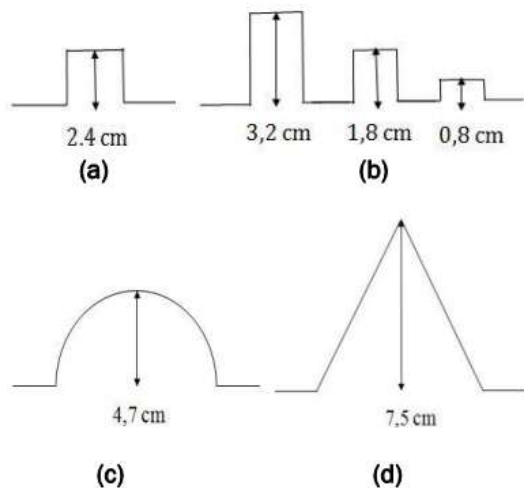


Gambar 3. Citra Terekam dari Obyek 3-Dimensi

2.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini akan menguji pengaruh frekuensi frinji terhadap kualitas rekonstruksi obyek dan akurasi dari pengukuran tersebut. Dibangkitkan 4 tipe pola frinji dari kerapatan yang renggang sampai rapat. Frekuensi-frekuensi frinji tersebut adalah 3,5,7, dan 9 cycle/piksel. Penelitian awal

dilakukan terlebih dahulu untuk beberapa obyek-obyek sederhana untuk meneliti kemampuan system merekonstruksi bentuk-bentuk yang merepresentasikan bagian pada wajah. Dipilih obyek-obyek yaitu balok, benda-berundak, prisma segitiga, dan tabung untuk penelitian awal sistem. Bentuk-bentuk obyek uji diilustrasikan pada Gambar 4 dibawah



Gambar 4 Penampang Melintang dari Obyek Uji Penelitian Awal (a) Balok (b) Benda Berundak (c) Tabung (d) Prisma Segitiga

Pengujian frekuensi pada penelitian awal dilakukan dengan membandingkan kedalaman obyek antara nilai asli dari pengukuran dan nilai dari konversi fasa- kedalaman dari rekonstruksi obyek. Konversi besaran fasa-kedalaman mengikuti kaidah triangulasi dengan formula pada persamaan (1) dibawah dimana PL dan PK memiliki satuan m, merupakan fasa absolut dari hasil akhir rekonstruksi obyek 3-dimensi dengan satuan radian, f dengan satuan linepairs per meter (lp/m).

Sehingga kedalaman profil obyek yaitu $Z_{konversi}$ berada pada skala m. Selain analisa ketelitian menggunakan perbandingan kedalaman, dilakukan analisa terhadap proporsionalitas kualitas hasil rekonstruksi.

$$Z_{konversi} = \frac{PL \times \Omega}{2\pi f \times PK} \quad (1)$$

Melalui penelitian awal, didapatkan frekuensi optimum untuk rekonstruksi wajah. Setelah itu, dilakukan rekonstruksi pada wajah. Penilaian akurasi dilakukan pada bagian hidung naracoba. Nilai yang dibandingkan adalah jarak dari ujung hidung ke pangkal menggunakan meteran dan

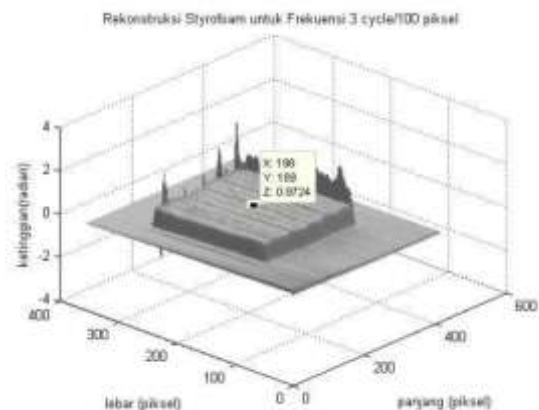
dari rekonstruksi. Jarak pangkal ke ujung hidung merupakan wujud dari kedalaman bagian wajah.

3 Hasil dan Diskusi

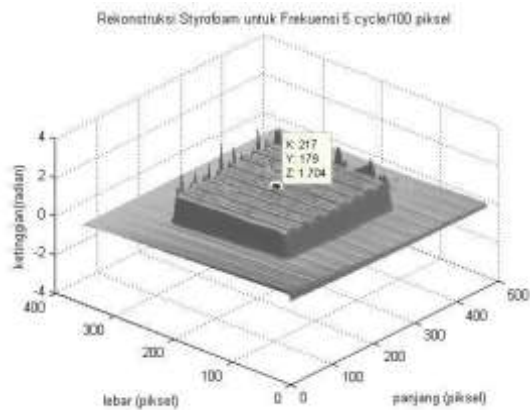
3.1 Penelitian Awal

Dilakukan rekonstruksi awal untuk obyek balok dengan keempat jenis frekuensi frinji yang dibangkitkan. Hasil rekonstruksi dapat dilihat pada Gambar 5-8. Sumbu z pada gambar menunjukan nilai fasa absolut dari hasil rekonstruksi yang sebanding dengan kedalaman obyek sesungguhnya. Melalui pengamatan, dapat dilihat rekonstruksi untuk frekuensi 9 cycle/100 piksel terdapat lonjakan yang tidak sesuai pada bagian atas balok. Rekonstruksi yang tidak sempurna ini diakibatkan oleh *fake wrap*[4] atau kesulitan pemrosesan citra terekam akibat frekuensi frinji yang terlalu rapat

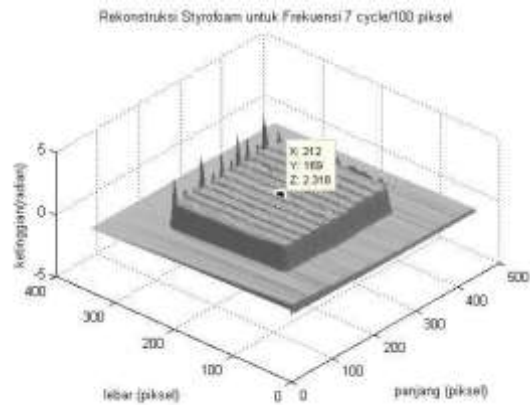
Nilai kedalaman obyek didapatkan melalui persamaan (1) sebelumnya. Kumpulan data untuk Rekonstruksi Balok ditampilkan pada Tabel 1. Dipilih frekuensi dengan ketelitian paling tinggi yakni untuk frekuensi 5 dan 7 untuk dilakukan pengujian kembali pada penelitian berikutnya. Penelitian selanjutnya adalah rekonstruksi untuk obyek berundak.



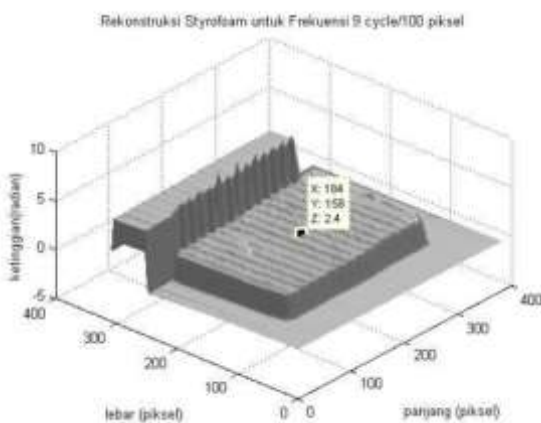
Gambar 5. Rekonstruksi pada Balok dengan Frekuensi 3 cycle/100 piksel



Gambar 6 Rekonstruksi pada Balok dengan Frekuensi 5 cycle/100 piksel



Gambar 7 Rekonstruksi pada Balok dengan Frekuensi 7 cycle/100 piksel

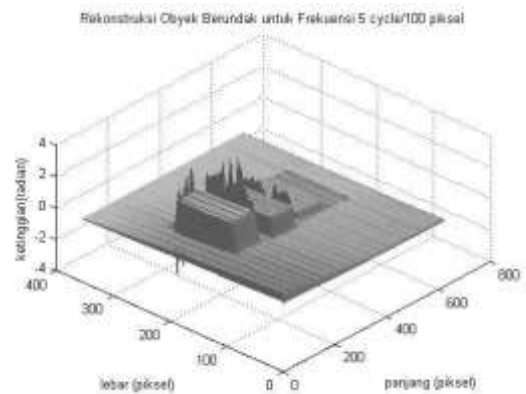


Gambar 8 Rekonstruksi pada Balok dengan Frekuensi 9 cycle/100 piksel

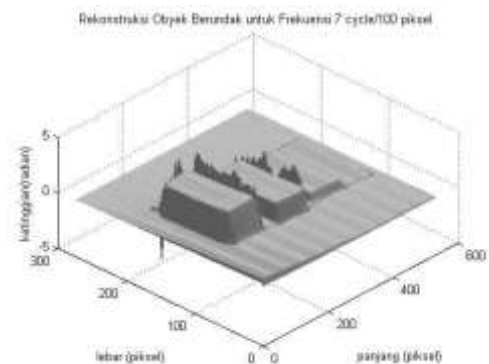
Tabel 1. Hasil Rekonstruksi Obyek Balok

Frekuensi	Fasa rata-rata (rad)	Tinggi Konversi (cm)	Ketelitian(%)
3	0,964	1,64	68,22
5	1,720	1,76	73,19
7	2,317	1,72	71,7
9	2,394	1,35	56,45

Obyek berundak merupakan obyek yang memiliki kedalaman yang berbeda-beda. Rekonstruksi dilakukan pada obyek agar proporsionalitas sistem dapat diketahui. Proporsionalitas sistem adalah kesebandingan perbedaan kedalaman antara obyek asli dan hasil rekonstruksinya. Pada permukaan wajah memang terdapat perbedaan kedalaman antara satu bagian dengan bagian lainnya, sehingga perlu diteliti kemampuan sistem merekonstruksi obyek yang kedalamannya beragam. Akurasi perbandingan kedalaman dan kualitas hasil rekonstruksi menjadi tolak ukur pengujian pola frinji pada penelitian awal ini.



Gambar 9. Rekonstruksi Obyek Berundak Frekuensi 5 cycle/100 piksel



Gambar 10. Rekonstruksi Obyek Berundak Frekuensi 7 cycle/100 piksel

Tabel 2. Data Perbandingan Kedalaman untuk Rekonstruksi Obyek Berundak

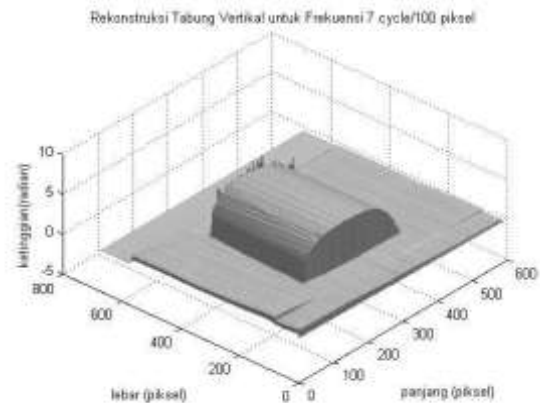
Posisi Pengukuran		A	B	C
Obyek Berundak	Kedalaman(cm)	3,2	1,8	0,8
	Perbandingan	4	2,25	1
Rekonstruksi 5 cycle / 100	Fasa(rad)	2,32	1,45	0,73
	Perbandingan	3,18	1,99	1
Rekonstruksi 7 cycle / 100	Fasa(rad)	3,1	1,94	0,98
	Perbandingan	3,15	1,97	1

Melalui Tabel 2 ditampilkan hasil perbandingan kedalaman antara obyek asli dan hasil rekonstruksi. Didapatkan nilai perbandingan yang hampir identik untuk frekuensi 5 dan 7 cycle/100 piksel. Ketelitian perbandingan nilai fasa terhadap perbandingan kedalaman obyek asli bila dihitung mencapai 80% untuk kedua jenis frekuensi. Gambar 9 dan 10 menampilkan hasil rekonstruksi obyek berundak untuk frekuensi- frekuensi uji. Rekonstruksi pada frekuensi yang lebih renggang yaitu 5 cycle/100 piksel memberikan noise yang lebih tajam dan permukaan balok yang bergelombang. Disisi lain, untuk rekonstruksi dengan frekuensi 7 cycle/100 piksel memberikan permukaan balok yang lebih halus dengan noise yang rendah. Melalui analisis akurasi perbandingan kedalaman dan hasil rekonstruksi obyek dipilih frekuensi 7 cycle/100 piksel yang memberikan hasil rekonstruksi yang optimum.

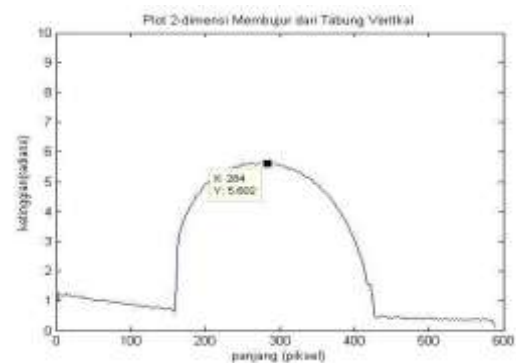
Penelitian awal berikutnya adalah rekonstruksi bentuk kontur. Wajah memiliki bentuk secara umum yaitu mencembung keluar. Untuk mengetahui akurasi rekonstruksi bentuk ini, dilakukan rekonstruksi terhadap obyek berbentuk setengah tabung. Selain itu, bagian penyusun wajah yang dominan yaitu hidung juga didekati rekonstruksinya dengan melakukan penelitian pada rekonstruksi obyek dengan bentuk prisma segitiga. Kemudian dilakukan analisis terhadap kesesuaian bentuk rekonstruksi dan obyek aslinya serta akurasi kedalaman obyek.

Secara bentuk, untuk obyek setengah tabung dan prisma segitiga didapatkan rekonstruksi yang sesuai dengan obyek aslinya. Hasil rekonstruksi ditampilkan secara utuh oleh Gambar 11 dan 13. Melalui penampang melintang dari tiap-tiap objek, dapat dipilih titik maksimum dari kurva 2 dimensi

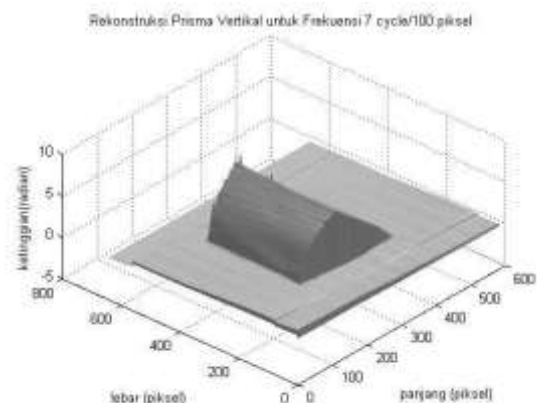
sebagai nilai fasa yang akan dikonversi menjadi nilai kedalaman dari rekonstruksi obyek tersebut. Penampang melintang dari masing-masing obyek ditampilkan oleh Gambar 12 dan 13. Sumbu y pada kurva tersebut adalah fasa absolut dan kemudian dikonversi menjadi kedalaman yang dianalisa akurasinya terhadap kedalaman obyek sesungguhnya



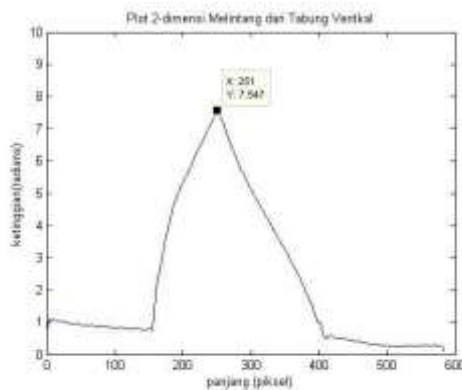
Gambar 11. Rekonstruksi Obyek Setengah Tabung dengan Frekuensi 7 cycle/100 piksel



Gambar 12. Penampang Melintang dari Rekonstruksi Obyek berbentuk Setengah Tabung



Gambar 13. Rekonstruksi Obyek Prisma Segitiga dengan Frekuensi 7 cycle/100 piksel



Gambar 14. Penampang Melintang dari Rekonstruksi Objek berbentuk Prisma Segitiga

Nilai dari kedalaman yang melalui konversi dibandingkan terhadap nilai kedalaman obyek sebenarnya. Data tersebut ditampilkan pada tabel 3. Untuk obyek setengah tabung ketelitian rekonstruksi mencapai 89,3% dan untuk obyek prisma segitiga dicapai ketelitian 74,67%. Ketelitian-ketelitian ini konsisten dengan penelitian awal pada balok dimana didapatkan ketelitian diatas 70% pada frekuensi 7 cycle/100 piksel.

Tabel 3. Data Kedalaman Obyek Setengah Tabung dan Prisma Segitiga

Obyek	Fasa Absolut (rad)	Kedalaman Konversi (cm)	Ketelitian(%)
Setengah Tabung	5,602	4,2	89,3
Prisma Segitiga	7,547	5,6	74,67

Penelitian awal kemudian selesai setelah rekonstruksi pada obyek setengah tabung dan segitga. Frekuensi 7 cycle/100 piksel dipilih sebagai frekuensi optimum untuk rekonstruksi permukaan wajah pada naracoba. Kriteria yang dipenuhi adalah bentuk rekonstruksi yang proporsional, ketelitian pengukuran diatas 70%, noise dengan jumlah minimal, serta kehalusan bentuk rekonstruksi

3.2 Penelitian pada Naracoba

Naracoba pada penelitian ini terdiri dari 2 laki-laki yang selanjutnya akan disebut sebagai Naracoba A dan Naracoba B. Secara fisik, naracoba A memiliki bentuk wajah yang kotak, mata bulat, hidung mancung, bibir tebal dan kulit wajah putih. Naracoba B disisi lain memiliki bentuk wajah yang

oval, dengan mata lebih lebar, hidung kecil, bibir tipis, dan kulit wajah gelap. Perbedaan antara kedua naracoba ini lalu dikuantifikasi pada bagian hidung. Jarak antara ujung sampai pangkal hidung untuk naracoba A adalah 2,6 cm dan 2,4 cm untuk naracoba B. Naracoba A ditampilkan oleh Gambar 15 dan Naracoba B oleh Gambar 16

Proses rekonstruksi pada wajah secara umum sama dengan proses pada penelitian awal. Tambahan pada penelitian ini adalah kedua naracoba direkonstruksi dengan menggunakan bantuan papan penutup pada bagian kepala. Sebelumnya pada uji awal naracoba, pengolahan citra gagal merekonstruksi bentuk wajah secara utuh akibat bayangan pada bagian atas dari kepala naracoba. Untuk mengantisipasi bayangan, diberikan penutup agar pengolahan data dapat menghasilkan bentuk wajah secara utuh. Selain penggunaan papan penutup, untuk rekonstruksi yang baik, obyek harus berada dalam keadaan diam saat perekaman citra. Jika obyek yaitu wajah manusia ikut bergerak ketika perekaman citra maka informasi fasa yang didapatkan tidak akan proporsional dengan bentuk obyek asli. Proses rekonstruksi untuk wajah berlangsung selama 8-10 menit bergantung pada besar citra yang akan diproses.



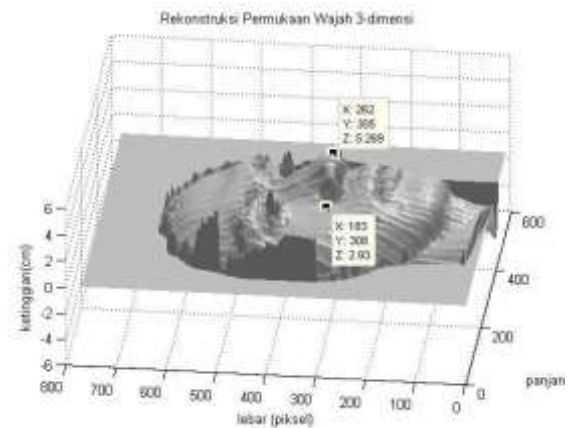
Gambar 15. Naracoba A



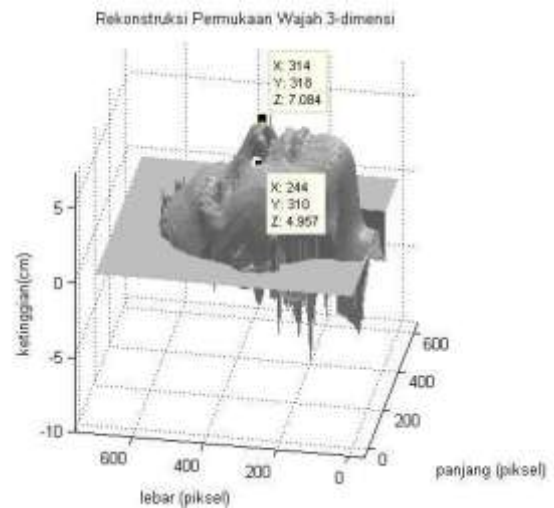
Gambar 16. Naracoba B

Hasil rekonstruksi untuk naracoba A dan B ditampilkan oleh Gambar 17 dan 18. Rekonstruksi langsung dikonversi oleh persamaan triangulasi dengan referensi titik 0 berada pada bagian papan. Sehingga sumbu z pada rekonstruksi wajah langsung berada pada skala metrik yaitu cm. Terlihat bentuk bagian-bagian penyusun wajah seperti mata, hidung, dan bibir ditampilkan secara jelas dan menggambarkan wajah naracoba sebenarnya. Pada Gambar 19 dan 20, ditampilkan penampang membujur dari rekonstruksi wajah pada bagian tengah. Terlihat bahwa profil dahi, hidung, dan bibir, direpresentasikan secara sesuai dengan tampak samping dari wajah asli seseorang. Naracoba B memposisikan kepalanya lebih mendongak dibanding naracoba A sehingga tampak lebih tinggi

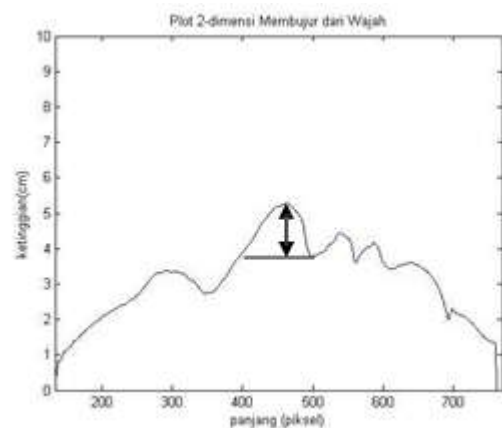
Pada rekonstruksi wajah diambil 2 titik pada bagian ujung hidung dan pangkal hidung yang akan diselisihihkan lalu dibandingkan dengan jarak ujung-pangkal hidung wajah asli. Tabel 4 menampilkan perbandingan nilai antara kedalaman hidung asli dan hasil rekonstruksi. Ketelitian untuk naracoba A mencapai 90% dan naracoba B adalah 88%. Sehingga, dengan analisa ketelitian serta analisa bentuk rekonstruksi, profilometri frinji digital dapat digunakan sebagai teknik untuk memindai wajah secara 3-dimensi sehingga didapatkan model wajah secara utuh.



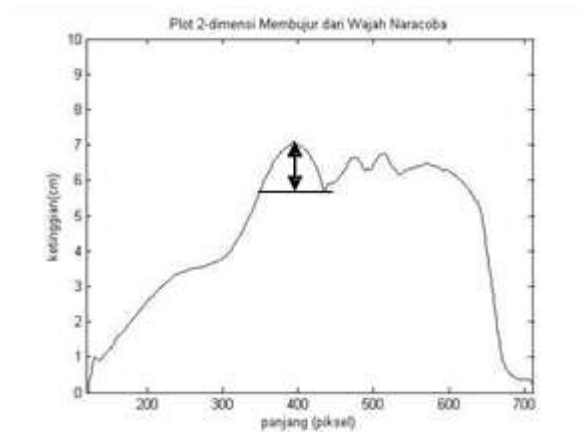
Gambar 17. Rekonstruksi Wajah Naracoba A dengan Frekuensi 7 cycle/100 piksel



Gambar 18. Rekonstruksi Wajah Naracoba B dengan Frekuensi 7 cycle/100 piksel



Gambar 19. Penampang Membujur dari Rekonstruksi Naracoba A



Gambar 20 Penampang Membujur dari Rekonstruksi Naracoba B

Tabel 4. Data Jarak Ujung-Pangkal Hidung Rekonstruksi Naracoba

Naracoba	Jarak Ujung-Pangkal (cm)	Jarak Hasil Rekonstruksi (cm)	Ketelitian (%)
A	2,6	2,34	90
B	2,4	2,11	88

4 Kesimpulan

Telah dirancang konfigurasi sistem untuk profilometri frinji digital yang terdiri dari proyektor DLP, kamera digital, dan komputer yang dapat digunakan untuk rekonstruksi 3-dimensi profil

permukaan wajah dengan informasi kedalaman pada skala metrik. Pola frinji optimum adalah dengan frekuensi 7 cycle/100 piksel untuk bisa merekonstruksi bentuk permukaan wajah baik dari segi kualitas dan keakuratan ukuran. Pada hasil rekonstruksi permukaan wajah naracoba A dan B diperoleh bentuk wajah yang sesuai dengan bentuk wajah asli naracoba dengan bagian-bagian penyusun wajah seperti mata, hidung, dan mulut terlihat jelas. Ketelitian pada masing-masing naracoba adalah 90% dan 88%.

5 Daftar Pustaka

- [1] L. G. Farkas, *Anthropometry of the Head and Face*. Raven Press, 1994.
- [2] S. Goel and A. Kaushik, "A Review paper on Biometrics: Facial Recognition," *Int. J. Sci. Res. Eng. Technol. IJSRET*, vol. 1, no. 017, 2012.
- [3] S. Zhang and P. S. Huang, "High-resolution, real-time three-dimensional shape measurement," *Opt. Eng.*, vol. 45, no. 12, pp. 123601–123601, 2006.
- [4] D. C. Ghiglia and M. D. Pritt, *Two-Dimensional Phase Unwrapping. Theory, Algorithms, and Software*. John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [5] J. M. Bioucas-Dias and G. Valadão, "Phase unwrapping via graph cuts," *Image Process. IEEE Trans. On*, vol. 16, no. 3, pp. 698–709, 2007.
- [6] N. Zahra, "Studi Pengembangan Pencitraan Profil Permukaan Kulit dengan Teknik Profilometri Fringe Digital," *Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung*, 2013.

CMOS Osilator Cincin dengan Keluaran Quadratur dengan Pengendalian Frekuensi

Ceri Ahendyarti, Prapto Nugroho, Risanuri Hidayat

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada

ceri.ahendyarti.sie13@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Makalah ini mendiskusikan tentang Osilator cincin CMOS dengan keluaran quadrature yang bertujuan untuk mencari kinerja atau daya guna yang bagus yang mengkonsumsi daya yang kecil, rendah noise dan mendapat frekuensi yang tinggi, kami menggunakan metode menambah inverter *feedforward*. Topologi rangkaian yang diusulkan adalah osilator cincin quadrature yang mempunyai 4 inverter utama dengan penambahan 4 inverter tambahan yang mempunyai fasa yang berlawanan yang dirangkai dan ditempatkan di simpul diantara inverter utama. Osilator quadrature adalah osilator cincin yang mengeluarkan 4 keluaran sinyal yang berbentuk sinusoidal dan setiap keluaran berbeda fasa 90°. Osilator cincin mempunyai derau fasa yang tinggi dibandingkan dengan osilator LC, tetapi osilator cincin mempunyai rentang tala yang lebih lebar dan mudah diintegrasikan dalam chip. Makalah ini mendiskusikan tentang osilator cincin quadratur CMOS dengan teknologi 0.18 um standart teknologi CMOS.

Kata kunci : quadrature ring oscillator, ring oscillator, CMOS ring Oscillator

1 Pendahuluan

Saat ini, teknologi komunikasi yang semakin meningkat pesat, dan standar komunikasi yang digunakan sekarang sangat bervariasi dari pengiriman data hingga bermacam frekuensi yang digunakan, sehingga dibutuhkan pembuatan skala rentang frekuensi yang lebar untuk mengaplikasikan sesuai kebutuhan pengguna alat telekomunikasi saat ini. Osilator cincin yang mempunyai rentang tala yang lebar dan sangat mudah diintegrasikan pada teknologi *chip* menjadi pilihan yang tepat dan yang sering digunakan oleh peneliti sebelumnya. [1]–[5]

Penggunaan daya listrik yang hemat dan rendah adalah tuntutan sebuah alat elektronik saat ini, tetapi meskipun mengkonsumsi daya yang hemat, kinerja yang cepat dan maksimum pada mode kinerja maksimum pada frekuensi operasi tinggi. Jika sumber frekuensi dengan pembagi yang dapat diprogram ulang digunakan, osilator selalu dioperasikan pada kecepatan detak cepat dan juga daya tinggi. Sebuah osilator dengan jangkauan tala yang lebar dapat mengurangi kerumitan rangkaian dan penghematan daya tambahan.

Selain masalah jangkauan tala dan penerimaan gambar yang bagus, konsumsi daya adalah alasan utama dipilihnya metode membuat keluaran quadratur pada osilator cincin, karena metode penggunaan sel tunda yang terlalu mengonsumsi banyak daya daripada metode quadratur. [6]–[9]

Berdasarkan berbagai alasan yang telah dikemukakan sebelumnya, paper ini bertujuan untuk mengembangkan kinerja osilator cincin yang mempunyai derau fasa yang rendah dengan cara membuat osilator cincin dengan keluaran quadrature dan menambah rentang tala

Pada bab 1, dibahas mengenai pendahuluan dan latar belakang penelitian. Bab 2 dibahas mengenai osilator cincin quadrature dan kendali frekuensi. Bab 3 mengenai hasil eksperimental dan pembahasan. Terakhir, bab 4 membahas mengenai kesimpulan.

2 Metode

2.1 Osilator Cincin Quadrature

Osilator cincin (Ring Oscillator) adalah osilator tanpa konduktor yang dihubungkan dengan koneksi cincin. Sedangkan Osilator cincin quadrature adalah osilator cincin yang menghasilkan 4 sinyal sinusoidal yang setiap sinyalnya berbeda fasa 90° [4]–[6]. Osilator cincin sering dipilih untuk diaplikasikan pada teknologi CMOS, karena mudah diintegrasikan dalam chip tidak seperti osilator LC yang membutuhkan tempat yang jauh lebih lebar dalam pengintegrasian. Tetapi osilator cincin mempunyai kelemahan derau fasa yang tinggi dibandingkan dengan osilator LC. Derau fasa yang tinggi membuat tantangan para peneliti untuk membuat metode yang digunakan untuk menekan derau fasa yang besar. [4]–[6], [10][11]

Beberapa metode ditemukan untuk mengurangi derau fasa yaitu dengan *injection locking*, dan salah satunya adalah dengan membuat keluaran osilator quadrature. Untuk membuat keluaran quadrature pada osilator cincin bisa dilakukan dengan beberapa teknik yaitu teknik *injection locking*, *interpolating phase*, dan *inverter* atau *coupled inverter*. [5], [10]

2.2 Rangkaian Osilator

Secara umum dasar dari rangkaian osilator cincin CMOS bekerja dengan sel tunda atau *inverter*, dengan jumlah ganjil paling kecil berjumlah tiga, dan disebut osilator cincin tiga tahap.[5], [10] Yang ditunjukkan pada Gambar 1.

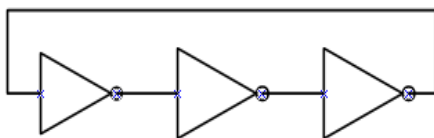
Inverter yang terkait dengan osilator cincin ini terdiri dari 2 yaitu *single ended* dan *differential*. Deraw fasa osilator cincin differential meningkat seiring bertambahnya jumlah tahap (N) yang sama. Osilator cincin berbasis differential inverter mengkonsumsi daya lebih rendah daripada daripada single ended inverter.

Pemakaian inverter sebagai sel tunda membuat adanya waktu tunda dari sinyal yang masuk dan keluar inverter maka frekuensi keluaran dari osilator bias dihitung dengan rumus:

$$f_{ocs} = \frac{1}{2N\tau_d} \quad (1)$$

dimana τ_d = waktu tunda tiap inverter

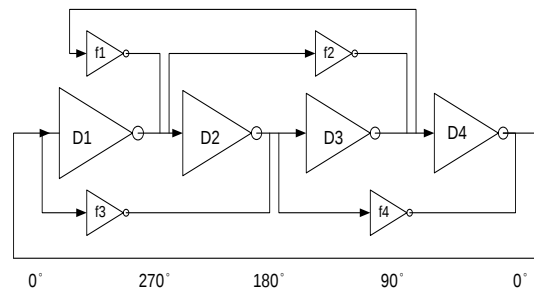
N = jumlah stage



Gambar 1. osilator cincin tiga tahap.

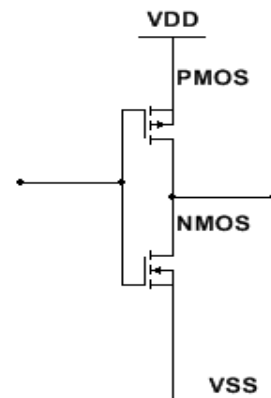
Untuk membuat keluaran quadrature dibutuhkan jumlah stage dari osilator yang berjumlah genap, dan sayangnya jika jumlah stage genap, menghasilkan keluaran yang statis dan stabil yang sering disebut "latch up" dan tidak bisa beresilasi.

Dari masalah diatas ada dua metode untuk membuat rangkaian beresilasi. Metode yang pertama adalah menggunakan differential sinyal dengan menggunakan current mode logic (CML) sel tunda dengan sumber tail current. Yang kedua dengan menambahkan umpan balik maju (feed forward) inverters diantara simpul-simpul yang mempunyai fasa sinyal yang berbeda. Gambar 2 menunjukkan osilator cincin dengan keluaran quadrature dengan menggunakan metode penambahan feedforward.



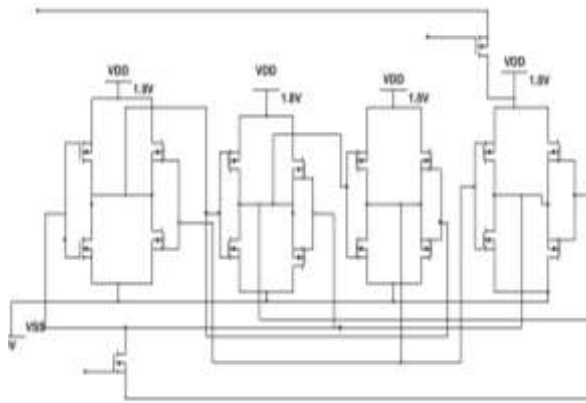
Gambar 2. osilator cincin tiga dengan metode penambahan inverter *feedforward*

Metode yang pertama mempunyai kekurangan pada konsumsi daya. Metode ini membuat konsumsi daya semakin besar dari sebelumnya karena arus bias yang konstan pada tail transistor [6]. Gambar 2 menunjukkan osilator cincin dengan keluaran quadrature dengan menggunakan metode penambahan feedforward. Inverter pada pada rangkaian berisi rangkaian yang terdiri dengan PMOS dan NMOS yang ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3. topologi dari masing-masing sel tunda rangkaian yang diusulkan.

Untuk mencegah adanya latch up pada rangkaian osilator cincin berjumlah stage genap yang mempunyai keluaran statis, dengan menambahkan rangkaian. Untuk meningkatkan frekuensi dari osilator cincin dengan jumlah tahapan yang genap dan penambahan feed forward diantara simpulnya ditunjukkan pada Gambar 4. Empat inverter utama yang dengan penambahan 4 rangkaian inverter tambahan dengan fasa yang berlawanan.



Gambar 4. Total Rangkaian Osilator cincin quadrature.

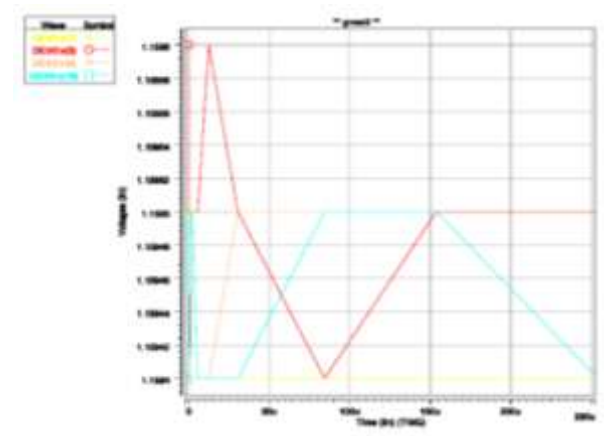
Bagian dari rangkaian dapat beroperasi sebagai negative -G, sel atau sebagai pembuatan kembali rangkaian, yang berdaya dua sinyal yang mempengaruhi level yang berlawanan. Inverter tambahan yang berlaku sebagai feed forwards bekerja sebagai sumber arus ujung atau *tail current* pada CML (current mode logic) pada osilator. Terdapat kekuatan threshold dari inverter feedforward yang berhubungan dengan kekuatan dari inverter utama untuk membuat osilasi yang stabil.

3 Pengendalian Frekuensi

Konsumsi arus pada inverter CMOS statis terutama terjadi karena proses pengisian dan simpul pengisian ulang pada kapasitor. Yang lebih rendah adalah arus, yang lebih panjang adalah waktu transisi. Oleh karena itu, kendali frekuensi dapat dicapai dengan mengarahkan atau memprogram arus terhadap pada *individual inverters stages*. Teknik ini diaplikasikan terhadap salah satu atau keseluruhan inverter untuk kondisi penurunan, kenaikan atau kedua sudut tersebut.

Pada umpan maju quadratur osilator dengan arus yang diarahkan secara diaplikasikan secara terpisah untuk dipasang hanya dengan inverter utama yang diajukan. Tidak ada arus yang dikendalikan yang diaplikasikan inverter umpan maju. Dengan pendekatan ini, kekuatan inverter umpan maju relative terhadap kekuatan utama inverter yang meningkat pada frekuensi yang lebih rendah. Pada frekuensi-frekuensi yang lebih rendah, konsep ini menyebabkan pembentukan isyarat untuk dibangkitkan kembali dan bagian utama dari persediaan arus digunakan sebagai arus shunt yang mengalir secara langsung dari Vdd ke Vss tanpa melakukan proses pengisian atau pengeluaran pada simpul kapasitansi sebagai hasil dari konsumsi arus tidak menurun pada frekuensi rendah dan fasa gangguan meningkat.

Pada proses pendekatan kami yang terbaru, kami mengajukan untuk mengendalikan total dari arus utama quadratur osilator lcm. Hal ini telah dilakukan sebuah sumber arus PMOS disambungkan ke bagian negative dari VSS (Gambar 4). Arus inti dikendalikan dengan mengaplikasikan tegangan yang tepat V_{pmos} dan V_{cmos} ke gerbang dari transistor arus yang dikendalikan. Sumber-sumber inti osilator inverter disambungkan ke sumber internal Vdd' dan Vss'. Dengan pendekatan ini, kekuatan rasio tertinggi diantara inverter utama dan inverter umpan maju di maintain pada beberapa arus inti sebagai hasil, konsumsi arus menurun dengan menurunnya frekuensi dan bentuk sinyal dan kinerja fasa noise bernilai relative tetap (konstan) pada rentang frekuensi kerjanya. Hal ini terjadi karena osilator arus inti pada dasarnya digunakan untuk proses pengisian dan disproses pengisian pada simpul kapasitansi internal pada beberapa frekuensi operasional. Oleh karena itu, transistor sumber arus menawarkan *supply rejection* dan penguatan pada gangguan pensakelaran.



Gambar 5. hasil simulasi osilator cincin quadrature

4 Kesimpulan

Makalah ini mendiskusikan tentang penambahan kinerja dari osilator cincin quadratur dengan metode penambahan rangkaian inverter *feedforward* yang berbeda fasa pada setiap simpul diantara inverter utama. Dengan peningkatan frekuensi dan pengontrolan frekuensi.

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak atau simulator H-SPICE dan didapatkan hasil yang frekuensi yang lebih besar 0.002ms. namun untuk phase noise dan daya yang rendah perlu penelitian lagi untuk hasil yang lebih baik.dalam rangkaian ini dengan meningkatkan nilai A_v (penguatan) dan kombinasi nilai W (*width*) dan L (*Leght*) pada transistor PMOS dan NMOS yang tepat.

5 Daftar Pustaka

- [1] O. Nizhnik, R. K. Pokharel, H. Kanaya, and K. Yoshida, "Low Noise Wide Tuning Range Quadrature Ring Oscillator for Multi-Standard Transceiver," vol. 19, no. 7, pp. 470–472, 2009.
- [2] P. Nugroho, R. K. Pokharel, A. Anand, R. Hashimura, G. Zhang, R. Dong, H. Kanaya, and K. Yoshida, "A Low Power 8-bit Digitally Controlled CMOS Ring Oscillator," pp. 504–507, 2012.
- [3] P. Nugroho, R. K. Pokharel, A. Anand, H. Kanaya, and K. Yoshida, "A Novel 14-bit Digitally Controlled Ring Oscillator," pp. 18–21, 2012.
- [4] P. Nugroho, R. K. Pokharel, A. Anand, A. Tomar, H. Kanaya, and K. Yoshida, "Development of Low Phase Noise Quadrature Output Digitally Controlled CMOS Ring Oscillator," pp. 255–258, 2011.
- [5] P. Nugroho, "Rangkaian Osilator Cincin dengan Sinyal Keluaran Quadrature untuk Aplikasi Komunikasi Nirkabel," vol. 1, no. 2, 2012.
- [6] M. Grözing, B. Philipp, and M. Berroth, "CMOS Ring Oscillator with Quadrature Outputs and 100 MHz to 3 . 5 GHz Tuning Range," vol. 2003, no. Esscirc, pp. 29–32, 2003.
- [7] R. S. Chen, P. A. Tirkas, C. A. Balanis, P. J. Leonard, Z. J. Cendes, N. Lu, J. L. Volakis, D. R. Wilton, A. F. Peterson, T. V Yioultsis, S. K. Selvaraja, P. Dumon, J. Brouckaert, K. De Vos, D. Van Thourhout, R. Baets, S. He, O. Express, Z. Han, S. Jang, Y. Chiu, C. Chang, C. Hsue, and K. Road, "CMOS QUADRATURE VCO USING THE," vol. 53, no. 11, pp. 2631–2634, 2011.
- [8] B. Chi and Z. Wang, "Quadrature Oscillator with Negative-Resistance Compensated Transformer Couple," pp. 441–444, 2005.
- [9] H. Ghonoodi and H. M. Naimi, "A Phase and Amplitude Tunable Quadrature Oscillator : Analysis and Design," vol. 58, no. 4, pp. 677–689, 2011.
- [10] B. Razavi, "Book-Design-of-Analog-CMOS-Integrated-Circuits-Behzad-Razavimarcado.pdf." Los Angeles, 2001.
- [11] B. Razavi, "A Study of Phase Noise in CMOS Oscillators," vol. 31, no. 3, pp. 331–343, 1996.

Pengukuran Refleksi Akustik Bola Sphere Menggunakan Instrumen Quantified Fish Finder

¹Steven Solikin, ²Henry M. Manik*)

¹Program Studi Teknologi Kelautan Program Pascasarjana IPB

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan FPIK IPB Kampus IPB Dramaga Bogor

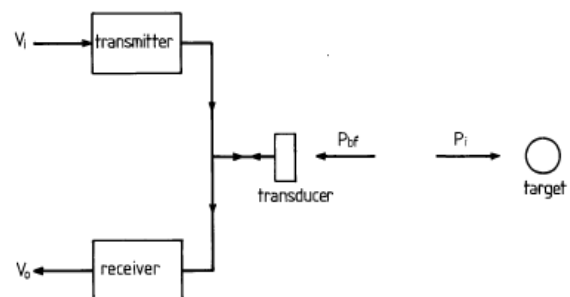
Corresponding author: henrymanik@ipb.ac.id*)

Abstrak

Pengukuran nilai *echo* akustik dari ikan merupakan metode yang penting dalam pendugaan stok ikan. Data estimasi stok ikan yang tepat atau presisi dapat diperoleh dari akurasi instrumen akustik yang sudah dikalibrasi. Salah satu metode untuk mengkalibrasi instrumen akustik adalah dengan mengukur nilai *echo* dari sebuah target standar, yaitu bola *sphere*. Tingkat akurasi dari instrumen sonar yang dikalibrasi sangat tergantung pada karakteristik akustik dari target (bola *sphere*). Pengkalibrasian menggunakan objek bola *sphere* ini dilakukan pada instrumen akustik CruzPro PcFF88. Bola *sphere* yang terbuat dari material *tungsten carbide* dengan ukuran diameter 3 cm diletakkan pada jarak 1 m di bawah *transducer* CruzPro menggunakan frekuensi 200 kHz. Hasil yang didapatkan berdasarkan pengukuran langsung menunjukkan bahwa nilai *target strength* dari bola *sphere* tersebut adalah sebesar -42.5 dB, sedangkan secara empiris nilai *target strength* bola *sphere* tersebut adalah sebesar -46 dB.

Kata Kunci: akustik; bola *sphere*; CruzPro PcFF88

Metode kalibrasi tersebut dicoba untuk diujikan pada *fish finder* CruzPro PcFF88 yang memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Gelombang suara yang ditransmit dari *transducer* CruzPro menjalar pada kolom air lalu mengenai target (bola *sphere*) dan kemudian gelombang suara akan kembali diterima oleh *receiver transducer*. Gelombang suara yang kembali tersebut dinamakan *echo*.



Gambar1 blok diagram pengukuran refleksi bola *sphere*

1 Pendahuluan

Quantified Echo Sounder (QES) sangat banyak digunakan dalam survei akustik untuk mengestimasi stok ikan. Untuk mendapatkan hasil estimasi yang baik, diperlukan kalibrasi terhadap instrumen yang digunakan.

Pada sekitar tahun 1980-an, Foote^[1] bersama peneliti lain mengembangkan metode kalibrasi menggunakan bola *sphere* standar (metode kalibrasi *sphere*). Pada metode ini dilakukan pengamatan pada nilai *echo* dari *sphere* tersebut, pengukuran amplitudo, dan mengubahnya menjadi nilai *target strength* (TS) dari *sphere* tersebut.

Menurut Foote et. al^[2], untuk mengkalibrasi suatu instrumen dengan menggunakan bola *sphere* ada tiga metode perhitungan yang dapat digunakan, yaitu: (1) sensitivitas *on-axis* dari keseluruhan *echo-sounding* dan sistem yang terintegrasi, (2) fungsi *time-varied-gain* (TVG) dari penerima (*receiver*), dan (3) sudut bim dari *transducer*. Perhitungan komponen elektrik dari komponen sistem juga dapat termasuk dalam faktor kalibrasi.

Tabel 1 Spesifikasi CruzPro Fish Finder PCF8850

Parameter	Nilai
Frekuensi (kHz)	200
Transmitted Power (Watt)	320
Near Field (m)	0.38
Kecepatan Suara (m/s)	1516
Durasi Pulsa (ms)	0.4
Ping Rate (s)	0.334
Amplifier Gain (dB)	-20.83

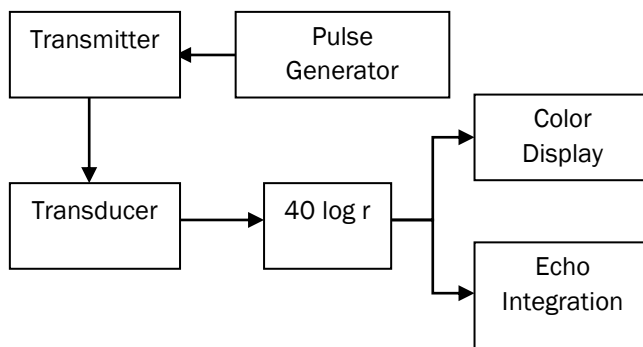
Menurut Sawada dan Furusawa^[3], metode integrasi *echo* dari bola *sphere* memiliki keunggulan dalam tingkat presisi dan seharusnya metode ini lebih banyak digunakan dalam teknik pengkalibrasian. Perhitungan kalibrasi dengan cara eksperimen nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Kami membandingkan hasil kami dengan penelitian yang dilakukan oleh MacLennan^[4]. Menurutnya, nilai TS

dari sebuah bola *sphere* sangat tergantung pada frekuensi instrumen, diameter, dan massa jenis dari bola *sphere* tersebut. Namun, nilai TS juga sangat tergantung pada kecepatan suara yang merambat di air dan pada bola *sphere* tersebut, dimana faktor kecepatan suara tersebut sangatlah sulit untuk dihitung.

2 Metode

Kami mencoba melakukan metode kalibrasi bola *sphere* dan integrasi *echo* pada *fish finder CruzPro PcFF88* di sebuah *water tank* yang berisi air tawar dengan kedalaman maksimal 2.5 m. Frekuensi yang digunakan sebesar 200 kHz dengan pengukuran TS.

Bola *sphere* yang terbuat dari material tungsten carbide dengan diameter 35 mm diletakkan sejauh 1 m dari permukaan *transducer*, sedangkan permukaan *transducer* diletakkan sejauh 70 cm dari permukaan air.

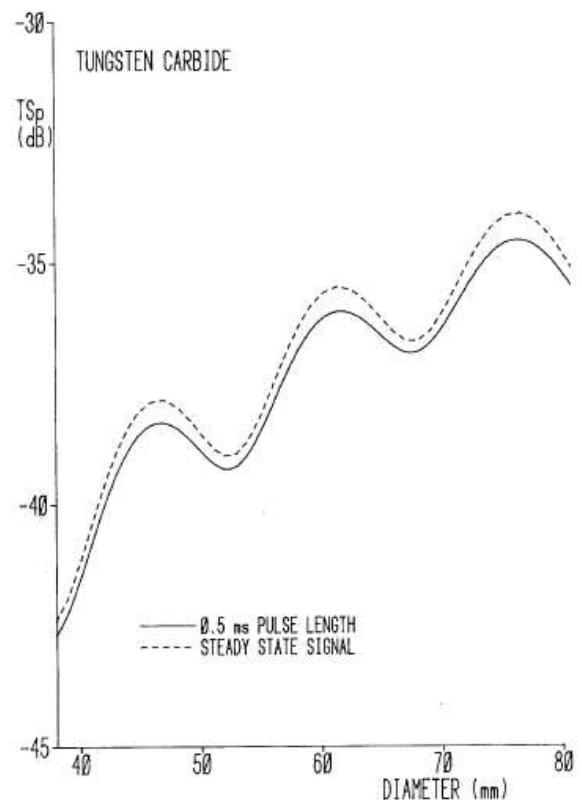


Gambar2 sistem diagram blok QES

3 Diskusi

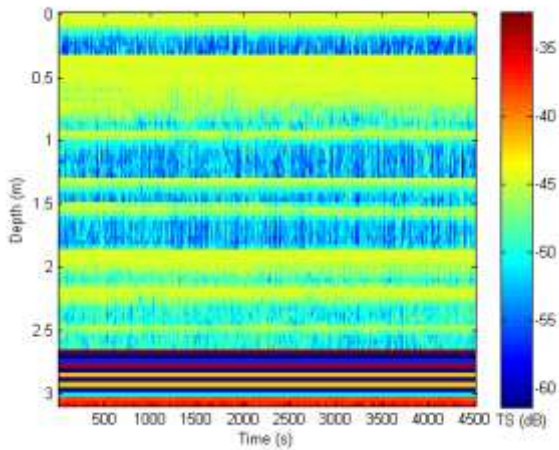
3.1 Percobaan Forbes et. al

Kami membandingkan nilai TS yang kami dapatkan dengan percobaan yang telah dilakukan sebelumnya oleh Forbes, Simmonds, dan Edward^[5] yang mengukur nilai TS dari bola *sphere* dengan diameter yang berbeda-beda.



Gambar 3 target strength dari sphere tungsten carbide

Berdasarkan percobaan yang dilakukan oleh Forbes et. al tersebut, semakin besar ukuran bola *sphere* maka nilai TS akan semakin besar juga, namun hubungan keduanya tidak linear, melainkan pada ukuran-ukuran tertentu nilai TS akan kembali mengecil baru kemudian membesar lagi. Hasil yang didapatkan dari percobaan tersebut menunjukkan bahwa bola *sphere* dengan ukuran diameter 35 mm memiliki nilai TS di antara -40 dB sampai -45 dB. Hasil yang kami dapatkan, yaitu TS dari bola *sphere* yang diukur dengan instrumen *CruzPro PcFF88* memiliki nilai -42.5 dB berada di dalam rentang nilai dari percobaan Forbes et. al.



Gambar 4 echogram TS hasil rekaman CruzPro PcFF88

Gambar 4 menunjukkan hasil echogram atau nilai echo bola sphere pada kedalaman 1 m yang diukur menggunakan instrumen CruzPro PcFF88. Dari echogram tersebut dapat diketahui bahwa nilai TS dari bola sphere adalah -42.5 dB.

3.2 Parameter SONAR

Source Level

Source level (SL) dari proyektor ke segala arah selalu direferensikan pada jarak standar 1 m atau 1 yard dari pusat akustiknya (dalam hal ini adalah bola sphere). Menurut Waite^[6], pada jarak 1 m dari pusat akustik bola sphere dengan luas area $4\pi r^2 = 12.6 \text{ m}^2$. Jika daya luaran yang digunakan adalah P watt, SL didefinisikan dengan persamaan

$$SL = 10 \log \left(\frac{I_i}{I_r} \right) \quad (1)$$

$$= 10 \log \left(\frac{P/12.6}{0.67 \times 10^{-18}} \right)$$

$$= 10 \log P + 10 \log (1.1846 \times 10^{17})$$

$$SL = 10 \log P + 170.8 \text{ dB} \quad (2)$$

(jika jarak standar adalah 1 yard, $SL = 10 \log P + 171.5 \text{ dB}$). Karena P yang digunakan saat pengambilan data adalah 320 Watt, maka $SL = 195.85 \text{ dB}$.

Transmission Loss

Transmission loss (TL) atau yang biasa sering disebut juga sebagai propagation loss (PL) adalah perhitungan kuantitatif dari hasil reduksi intensitas suara antara sumber dan target. PL dapat disebabkan oleh spreading loss maupun absorpsi dari kolom perairan. Pada kasus bola sphere,

power dari transducer diradiasikan ke semua arah sama besarnya. Karena $P = \text{intensitas} \times \text{area}$,

$$P = 4\pi r_1^2 I_1 = 4\pi r_2^2 I_2 = \dots = 4\pi r^2 I_r$$

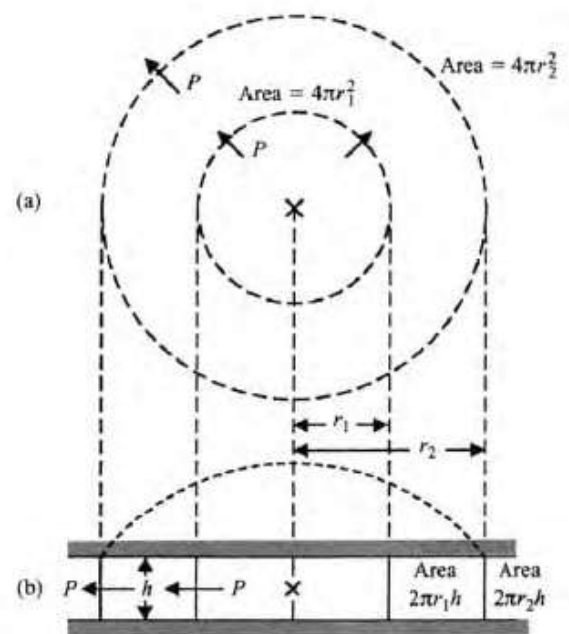
dan jika $r_1 = 1 \text{ m}$, fungsi PL menjadi

$$PL = 10 \log \left(\frac{I_i}{I_r} \right) = 10 \log r^2 \quad (3)$$

atau dalam bentuk logaritmik,

$$PL = 20 \log r \quad (4)$$

dimana r dalam meter. Jarak antara transducer dan bola sphere adalah 1 m, maka nilai PL adalah 0 dB.



Gambar 5 spreading loss

4 Kesimpulan

Frekuensi 200 kHz merupakan frekuensi yang biasanya digunakan untuk survei ikan di laut dangkal. Untuk kalibrasi instrumen dengan menggunakan target bola sphere dengan diameter sekitar 40 mm, nilai TS yang harus dikeluarkan oleh instrumen tersebut haruslah berkisar -42 dB atau lebih besar. Instrumen CruzPro PcFF88 sudah terkalibrasi dengan baik.

5 Daftar Pustaka

- [1] K.G. Foote, "Optimizing copper spheres for precision calibration of hydroacoustic

- equipment," J. Acoust. Soc. Am. 71, 742-747 (1982).
- [2] K.G. Foote, H.P. Knudsen, G. Vestnes, D.N. MacLennan, and E.J. Simmonds, "Calibration of Acoustic Instruments for Fish Density Estimation: A Practical Guide," International Council for the Exploration of the Sea (1987).
 - [3] K. Sawada and M. Furusawa, "Precision calibration of echo sounder by integration of standard sphere echoes," J. Acoust. Soc. Jpn. (E)14, 4 (1993).
 - [4] D. N. MacLennan, "The Theory of Solid Spheres as Sonar Calibration Targets," Scottish Fisheries Research Report (1981).
 - [5] S.T. Forbes, E.J. Simmonds, and J.I. Edwards, "Progress in target strength measurements on live gadoids. Marine Laboratory Working Paper No. 80/15, 40 pp. (mimeo) (1980).
 - [6] A.D. Waite, "SONAR for Practising Engineers. UD, England: John Wiley & Sons, Ltd (2002).

Rancang Bangun Instrumen Autonomous Pengukur Parameter Fisik Laut

¹Henry M. Manik^{*}, ²Angga Dwinovantyo, ²Hendi Santoso, & ²Steven Solikin

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Kampus IPB Dramaga, Institut Pertanian Bogor, Bogor

² Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor

^{*}*Corresponding author: henrymanik@ipb.ac.id*

Abstrak

Kegiatan penelitian dalam bidang kelautan khususnya pengukuran parameter fisik laut membutuhkan sebuah alat ukur yang teliti dan *user friendly*. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat suatu instrumen autonomous untuk mengukur parameter fisik laut. Pengukuran parameter fisik laut dilakukan dengan alat ukur berbasis mikrokontroler Arduino Yun ATmega32 versi *surface mounting device* (SMD) yang dilengkapi sensor suhu (DS18B20), pH meter, dan konduktivitas (*electrical conductivity meter*). Pada sistem yang dirancang, hasil pengukuran disimpan pada *data logger*. Hasil pada pengujian secara laboratorium menunjukkan pengukuran suhu air tawar rata-rata sebesar 26.58 °C, pH 7.63, dan salinitas 0 ‰, sedangkan pengukuran suhu pada air laut sebesar 27.42 °C, pH 8.06, dan salinitas 31.99 ‰. Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh hasil bahwa pengukuran kondisi menggunakan instrumen ini dapat bekerja dengan baik.

Kata Kunci: *autonomous, instrumen, mikrokontroler Arduino YUN ATmega32, pH, salinitas, suhu*

contohnya termometer untuk mengukur suhu, refraktometer untuk mengukur salinitas, dan kertas pH untuk mengukur pH. Upaya penelitian dan pemantauan parameter fisik ini terbatas pada skala temporal dan spasialnya. Dalam beberapa tahun terakhir, pengukuran lapang yang akurat masih tergantung kepada biaya yang cukup mahal karena memerlukan alat yang canggih untuk mengukurnya disamping faktor transportasi dari darat ke laut. Maka dari itu dibutuhkan suatu teknologi berbasis instrumen yang memiliki kemampuan lebih baik untuk mengukur parameter fisik laut. Tanpa pengukuran yang akurat, intensif, dan dilakukan pemantauan dalam jangka panjang, data parameter fisik laut yang baik dan benar tidak dapat diperoleh.

Pada penelitian ini dibuat suatu alat ukur suhu, salinitas, dan pH dengan mikrokontroler Arduino YUN ATmega32 versi *surface mounting device* (SMD) yang mantinya akan diimplementasikan untuk merekam data parameter fisik laut pada rentang waktu tertentu. Instrumen ini dilengkapi sensor suhu (DS18B20), pH meter, dan konduktivitas (*electrical conductivity meter*). Instrumen autonomous ini diharapkan dapat menggantikan metode pengukuran konvensional yang selama ini digunakan. Bahkan apabila dibandingkan dengan pengukuran instrumen lain sekalipun, seperti CTD (*conductivity, temperature, and depth*), pengukuran menggunakan instrumen autonomous ini lebih baik karena didapatkan hasil yang kontinyu [3]. Keseluruhan hasil pengukuran kemudian disimpan dalam sebuah *data logger*. Pemantauan dan pengukuran *in situ* yang berkelanjutan diharapkan dapat memberikan informasi penting untuk penelitian, karena data *time series* dibutuhkan untuk memantau fenomena laut yang berkaitan dengan faktor suhu, salinitas, dan pH. Selain itu juga data *time series* parameter fisik laut dapat digunakan untuk mengestimasi pemantauan ekologi ikan beserta tingkah laku ikan.

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Fenomena alam yang terjadi di laut dapat diamati dari berbagai parameter fisik. Parameter fisik laut tersebut diantaranya suhu, salinitas, dan pH. Ketiga parameter ini sangatlah penting dalam survey oseanografi. Suhu merupakan salah satu faktor yang penting dalam mengatur proses kehidupan organisme laut dan mempunyai pengaruh sangat dominan terhadap kehidupan ikan dan sumber daya hayati laut pada umumnya [1]. Salinitas didefinisikan sebagai jumlah berat garam yang terlarut dalam 1 liter air dan erat kaitannya dengan nilai konduktivitas. Semakin tinggi salinitas, maka semakin tinggi konduktivitasnya. Salinitas perairan memegang peranan penting bagi kondisi perairan laut karena memengaruhi laju pertumbuhan, jumlah makanan yang dikonsumsi, dan daya kelangsungan hidup pada biota laut [2]. Nilai pH di perairan sangat penting diketahui, terlebih sedang maraknya isu pengasaman laut yang dibuktikan oleh menurunnya nilai pH dan berakibat buruk terhadap kehidupan biota laut. Selama ini pengukuran parameter fisik tersebut masih menggunakan alat konvensional, seperti

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah membuat instrumen autonomous yang dapat mengukur secara simultan parameter fisik laut dengan akurasi yang tinggi.

2 Metodologi

2.1 Waktu Penelitian

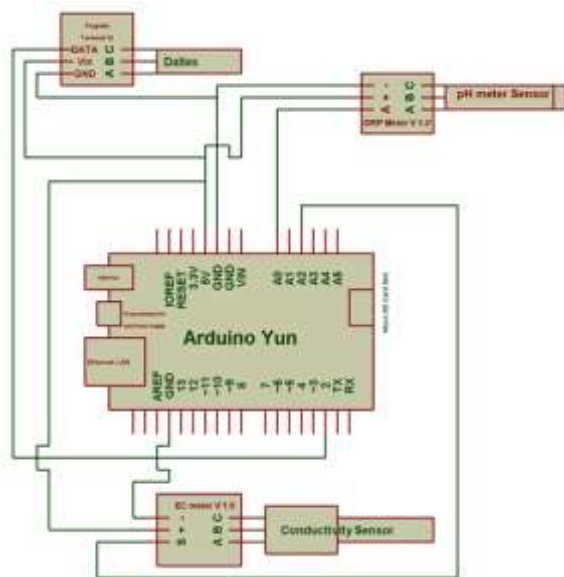
Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2015 di Laboratorium Akustik dan Instrumentasi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

2.2 Desain Alat

Penelitian ini menggunakan desain instrumen sebagai berikut:



Gambar 1 diagram alir pengukuran parameter fisik laut



Gambar 2 rangkaian skematik

Keterangan:

1. Arduino Yun
2. Conductivity Sensor terhubung pada Pin A2
3. pH Meter Sensor terhubung pada Pin A0
4. Dallas Temperature Sensor pada Pin 2
5. MicroSD slot untuk penyimpanan data logger

Perangkat keras instrumen ini terbagi menjadi beberapa bagian yaitu komputer, unit mikrokontroler, sensor, dan catu daya. Perangkat lunak ditulis dengan Arduino yang kemudian diunggah ke mikrokontroler. Hasil pengambilan

data dapat ditampilkan di perangkat lunak ini dan dapat diekspor ke dalam format .csv atau .txt.

Pengujian skala laboratorium meliputi kinerja instrumen dalam mengambil parameter fisik menggunakan air laut dan air tawar. Hasil pengukuran oleh instrumen kemudian dibandingkan dengan Horiba *Water Checker* U-50 yang telah terkalibrasi parameter suhu, pH, dan salinitasnya. Interval pengambilan data yang digunakan adalah setiap 1 menit selama 1 jam.

2.3 Rangkaian Skematik

Instrumen dirangkai dengan menghubungkan *pin connector* pada masing-masing sensor ke mikrokontroler Arduino. Rangkaian skematik instrumen pengukur parameter fisik laut ini dapat dilihat pada Gambar 2.

2.4 Pengolahan Data

Analisis hasil pengukuran dilakukan dengan perangkat lunak Microsoft Excel 2010. Data yang di plot terdiri dari data pengukuran suhu, salinitas, dan pH pada air laut dan air tawar.

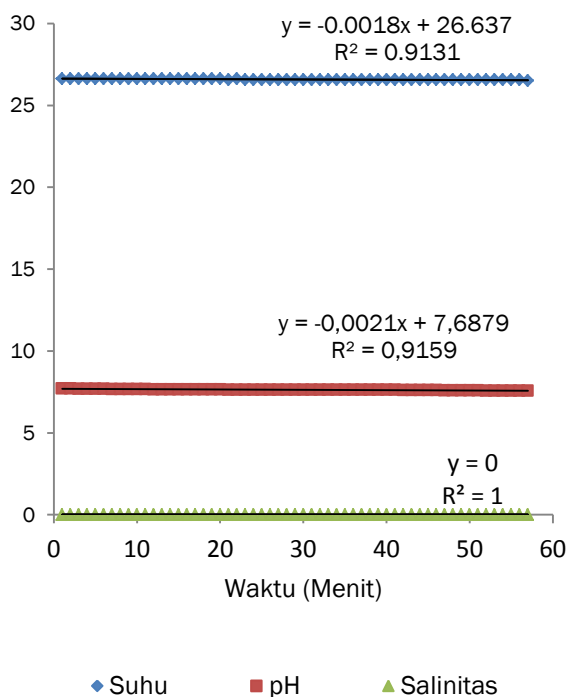
3 Hasil dan Pembahasan

Pengukuran parameter fisik laut dengan mikrokontroler Arduino yang dihubungkan pada tiga buah sensor. Sensor suhu DS18B20 sangat baik dan akurat dalam mengukur suhu air. Selain itu sensor ini cukup tahan pada range suhu yang ekstrim, yaitu berkisar antara -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ dan akurasi pengukuran sebesar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Sensor pH menggunakan pH probe dengan mengukur nilai $[\text{H}]^{+}$ yang berada di air. Range pengukuran pH dengan sensor ini berkisar pH 0-14 dengan kecepatan respon pembacaan yakni 95% dalam 1 detik. Sensor dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan penyangga (*buffer*) pada pH 4.0, 7.0, dan 10.0 [4]. Setelah dikalibrasi barulah dilakukan pengukuran pada air tawar dan air laut.



Gambar 3 pengambilan data suhu, pH, dan salinitas pada air tawar (*fresh water*)

Gambar 3 menunjukkan pengukuran parameter suhu, pH, dan salinitas yang dilakukan dengan air tawar dari air sumur dan air laut dari Pulau Pari, Kepulauan Seribu pada kondisi ruangan laboratorium. Hasil pengukuran parameter fisik air laut dan air tawar menunjukkan pembacaan parameter fisik laut memerlukan waktu untuk alat dapat membaca hingga stabil. Waktu yang diperlukan hingga hasil yang didapat menjadi stabil adalah kurang lebih 10 detik. Hasil pengukuran yang disimpan dalam data logger kemudian diekspor ke Microsoft Excel. Pengukuran dilakukan selama 60 menit dengan hasil seperti yang ditunjukkan Gambar 4.



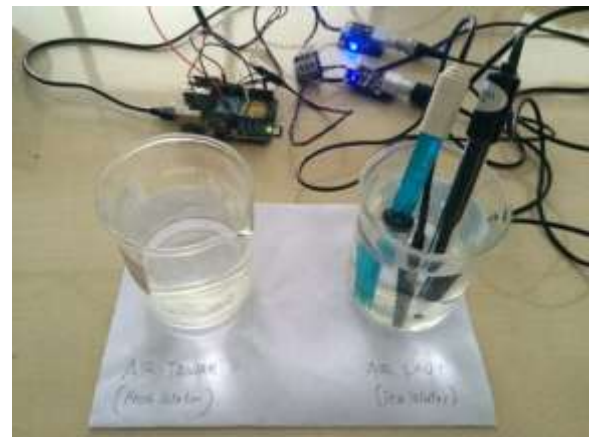
Gambar 4 hasil plot parameter suhu, pH, dan salinitas pada air tawar

Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran pada masing-masing parameter dengan persamaan linearitasnya. Pada hasil pengukuran suhu, nilai koefisien determinasi menunjukkan nilai 0.9131. Nilai ini menandakan bahwa variasi data hasil data pengukuran yang didapat adalah baik karena mendekati nilai 1. Suhu pengukuran bernilai rata-rata 26.58 °C dengan standar deviasi sebesar 0.04.

Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan Horiba Water Checker U-50 yang menunjukkan rata-rata 26.60 °C. Secara statistik hasil pengukuran antara instrumen pengukur parameter fisik laut dan Water Checker tidak berbeda secara signifikan.

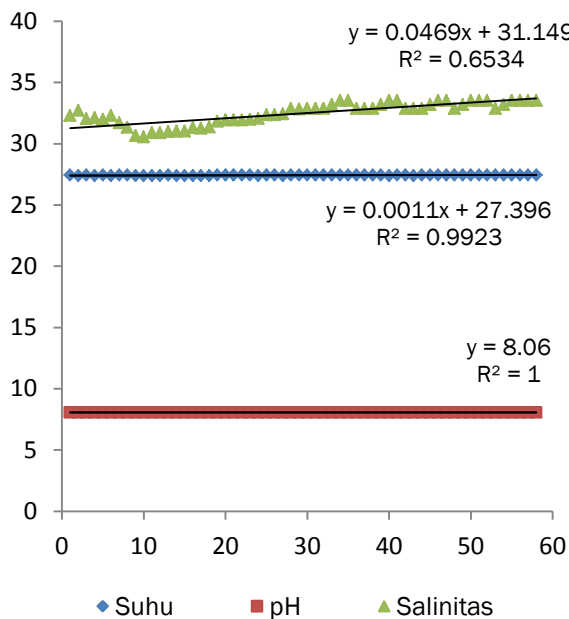
Begitupun hasil pengukuran pH, dengan koefisien determinasi yang didapat yaitu sebesar 0.9159 dengan pH rata-rata 7.63 dan standar deviasi sebesar 0.04. Pengukuran pH dengan Water Checker menunjukkan rata-rata pH sebesar 7.58. Bila dibandingkan dengan pengukuran dengan Water Checker, tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada air tawar ini tidak didapat nilai salinitas karena sesuai dengan kondisi air yang memang tidak asin sehingga salinitas bernilai nol.

Pengukuran parameter fisik pada air laut juga dilakukan pada parameter suhu, pH, dan salinitas yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 pengambilan data suhu, pH, dan salinitas pada air laut (sea water)

Pengukuran pada air laut yang diperoleh dari perairan Pulau Pari, Kepulauan Seribu ini relatif berfluktuasi pada pengukuran parameter salinitas. Hasil pengukuran parameter fisik pada air laut selama 60 menit pada dua parameter lainnya relatif lebih stabil, dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 hasil plot parameter suhu, pH, dan salinitas pada air laut

Pengukuran parameter fisik air laut memperlihatkan hasil yang baik juga, dibuktikan dengan hasil plot beserta kurva linearnya. Pengukuran pH dan suhu air relatif lebih stabil bila dibandingkan dengan pengukuran salinitas. Suhu hasil pengukuran dengan instrumen ini bernilai 27.42 °C dengan standar deviasi 0.03, sedangkan pengukuran dengan Horiba Water Checker U-50 bernilai 27.26 °C. Hasil ini tidak berbeda secara signifikan bila diuji secara statistik. Seperti halnya pengukuran suhu, pada pengukuran pH juga didapat hasil yang relatif stabil dengan suhu air laut sebesar 8.06. Nilai ini sama seperti pengukuran menggunakan Water Checker.

Hal ini menunjukkan instrumen cukup baik untuk membaca keseluruhan parameter suhu, salinitas dan pH secara simultan dan cocok untuk digunakan dalam pemantauan fenomena pemanasan global dan pengasaman laut. Pengukuran salinitas lebih lama mencapai nilai stabil namun masih dalam taraf wajar karena hasil yang didapat tidak terlalu jauh berbeda yaitu dengan standar deviasi 0.81. Hal ini disebabkan pembacaan konduktivitas pada air yang berubah-ubah sehingga memengaruhi nilai salinitas [5].

4 Kesimpulan

Secara keseluruhan instrumen pengukur parameter fisik laut ini dapat mengukur kondisi fisik perairan khususnya parameter fisik laut dengan baik dilihat dari hasil pengukuran terhadap

air tawar dan air laut dan secara statistik tidak berbeda nyata terhadap instrumen terkalibrasi.

5 Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh civitas akademika Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

6 Daftar Pustaka

- [1] A. Nontji. Laut Nusantara. Jakarta, ID: Djambatan, 2005.
- [2] V.F. Matveev, D.L. Steven. "The effects of salinity, turbidity and flow on fish biomass estimated acoustically in two tidal rivers." *Mar. Freshw. Res.* 65(3), 2014, p. 267-274
- [3] H.B. Glasgow, J.M. Burkholder, R.E. Reed, A.J. Lewitus, J.E. Kleinman. "Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies." *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 300(2004), 2004, p. 409-448.
- [4] K.L. Cheng, D.M. Zhu. "On calibration of pH meters." *J. Sensors* 5, 2005, p. 209-219.
- [5] S.C. Mukhopadhyay A. Mason, "Real-time water quality monitoring." *SSMI* 4, 2013, pp. 1-24. DOI: 10.1007/978-3-642-37006-9_1

Perancangan Kalkulator *Balancing* Berbasis Antarmuka Grafis

Saptian Alfudi Rahman¹⁾, Jovi Abi Rahman²⁾, Bagus Tris Atmaja³⁾

^{1),2),3)}Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur

Email : saptian12@mhs.ep.its.ac.id¹⁾, jovi12@mhs.ep.its.ac.id²⁾, bagus@ep.its.ac.id³⁾

Abstrak

Unbalance merupakan salah satu jenis kerusakan yang sering terjadi pada mesin berputar dan dapat dideteksi menggunakan teknik analisis vibrasi. Motor pompa di industri petrokimia merupakan salah satu contoh mesin yang sering mengalami kerusakan tipe *unbalance*. Pada kondisi *unbalance*, pusat massa tidak sesumbu dengan sumbu rotasi sehingga rotor mengalami gaya vibrasi terhadap poros sehingga menghasilkan gaya sentrifugal. Hal tersebut ditunjukkan dengan tingginya nilai *overall* vibrasi pada pompa yakni sebesar 781 um pk-pk pada frekuensi 1x RPM arah radial. *Balancing* pada rotor merupakan cara untuk mengatasi *unbalance* untuk mencegah beban yang tinggi pada *bearing* mesin. Pada penelitian ini, digunakan teknik *single plane* dengan analisis vektor magnitudo getaran yang dihasilkan oleh mesin yang terindikasi *unbalance* dan akibat pemasangan *trial weight* pada rotor. Keunggulan menggunakan teknik ini adalah cepat dalam penggunaan di lapangan. Setelah dilakukan *balancing*, nilai magnitudo motor berkurang hampir 82 % dari magnitudo awal. Sebuah kalkulator *balancing* berbasis antarmuka grafis MatlabTM dikembangkan untuk memudahkan pekerja di lapangan dalam melakukan *balancing*. Sebagai validasi, digunakan *vibration analyzer* Bentley Nevada tipe Scout 100 pada mini plant rotor kit dengan *error* perhitungan massa koreksi sebesar 0,02 dan *error* peletakan posisi massa koreksi sebesar 0 dan performa reduksi magnitudo vibrasi antara 52-92% pada kecepatan putar 2520 RPM.

Kata Kunci : *Unbalance, Single plane Balancing, Rotor*

terjadi amplitudo getaran yang besar [5]. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyeimbangan (*balancing*) pada mesin. *Balancing* pada rotor merupakan cara untuk mengatasi *unbalance* sehingga mencegah beban yang tinggi pada *bearing* mesin dan menghindari kerusakan beberapa komponen mesin lain sehingga meningkatkan waktu pemakaian mesin pada industri. *Balancing* mempunyai banyak teknik yang dapat digunakan salah satu yang umum digunakan adalah teknik *single plane balancing*. Teknik ini mempunyai keunggulan yakni cepat dalam penggunaan di lapangan [3]. Pada dunia industri, teknik *balancing* dilakukan secara komputasi menggunakan *vibration analyzer* sehingga parameter-parameter *balancing* dapat ditampilkan secara otomatis. Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk mengetahui secara analitis bagaimana parameter-parameter tersebut didapatkan, dengan menggunakan metode analisis vektor. Setelah metode analisis menggunakan perhitungan manual telah dilakukan, kemudian diimplementasikan menjadi program yang dibentuk menjadi suatu kalkulator dengan antar muka grafis *software* Matlab, yang hasilnya divalidasi dengan menggunakan *vibration analyzer* yang terdapat di pabrik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang “Perancangan Kalkulator *Balancing* Berbasis Antar Muka Grafis”.

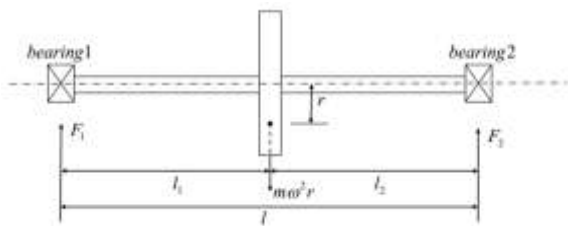
1 Pendahuluan

Unbalance merupakan salah satu kerusakan yang sering terjadi dan menyebabkan munculnya vibrasi pada suatu mesin berputar. *Unbalance* harus sangat diperhatikan pada desain mesin modern dimana memiliki kecepatan dan reliabilitas yang tinggi [3]. Suatu mesin dapat dikatakan seimbang apabila nilai residual *unbalance* dari komponen putar mesin tersebut memenuhi standar yang ditentukan pada ISO-1940. Pada mesin yang berputar umumnya memiliki ketidakseimbangan antara pusat massa terhadap pusat geometrik komponen. Hal tersebut menyebabkan frekuensi 1X *order* tereksitasi menjadi sangat dominan dengan amplitudo yang tinggi [4]. Eksitasi frekuensi 1X *order* tersebut, membuat gangguan pada sistem operasi mesin atau dapat mengganggu keamanan struktur mesin apabila

2 Diskusi

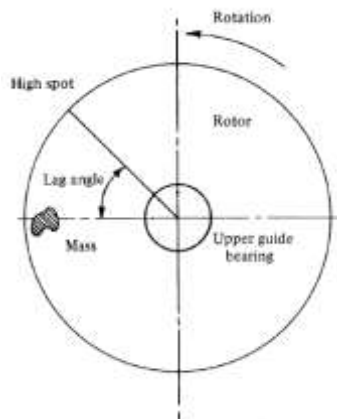
Single plane Balancing

Kerusakan jenis *unbalance* dapat terjadi pada komponen mesin berputar seperti piringan pejal yang memiliki ketidakseimbangan antara pusat massa terhadap pusat geometriknya [5]. Ketidakseimbangan tersebut mengakibatkan munculnya gaya sentrifugal pada komponen mesin berputar sehingga menyebabkan terjadinya vibrasi pada arah radial (tegak lurus dengan sumbu putar).



Gambar 1 Kasus *Single plane Balancing*

seperti pada gambar 1 massa *unbalance* cenderung menarik rotor kearah keluar terhadap *bearing* ($m\omega^2 r$). Karena komponen massa berputar, gaya yang berputar berusaha untuk memindahkan rotor sepanjang garis aksi gaya. Sehingga terjadi getaran yang dikirim ke bantalan rotor (*bearing*) dan setiap titik pada bantalan akan mengalami gaya pada tiap periode putarannya.

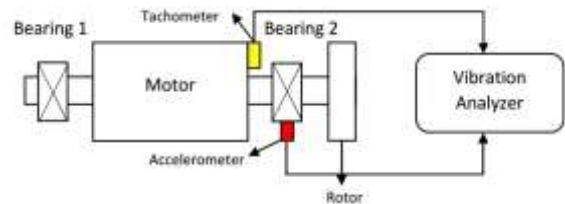


Gambar 2 Bidang pada rotor

gambar 2 menunjukkan bahwa terjadi beda fase akibat adanya massa *unbalance* pada bidang rotor. Pada kecepatan putar rendah tidak terjadi beda fase akibat massa *unbalance*, tetapi beda fase akan muncul jika kecepatan putar bidang rotor semakin meningkat sehingga muncul *high spot* [1]. *High spot* merupakan suatu titik dimana terjadi amplitudo maksimum pada suatu bidang dengan posisi sudut tertentu terhadap massa *unbalance*. Dengan informasi tersebut ketidakseimbangan pada rotor dapat dihilangkan dengan cara menentukan besar amplitudo dan lokasi ketidakseimbangan (sudut fasa) di sekitar *shaft* sehingga dapat diletakkan massa penyeimbang pada rotor untuk melawan gaya *unbalance* pada radius yang sama. Teknik tersebut biasa disebut dengan teknik *single plane balancing* yang dilakukan dengan menganggap rotor, *blade*, dan *coupling* pada motor merupakan satu kesatuan yang ikut berputar bersama sehingga *balancing* dilakukan hanya pada salah satu komponen saja [3]. Pada kasus ini,

komponen yang di *balancing* hanyalah rotor saja, karena bagian ini paling mudah dijangkau dan diberi komponen massa *balancing*.

Perhitungan *Single plane Balancing*



Gambar 3 Konfigurasi Eksperimen *Single plane Balancing*

Percobaan ini dilakukan pada motor pompa pengendali banjir dengan konfigurasi seperti pada gambar 3. Sistem tersebut terdiri dari motor AC sebagai penggerak, 1 *shaft*, 2 *bearing*, dan satu buah piringan pejal sebagai tempat meletakkan beban penyeimbang. Piringan tersebut mempunyai 11 lubang (*fixed position*) di tepinya untuk menempatkan massa *unbalance* dan massa *balancing*. Karena terdapat *fixed position*, maka perhitungan yang dapat dilakukan adalah perhitungan menggunakan *fixed position*. Karena terdapat 11 lubang, maka sudut antar lubangnya adalah sebesar $32,72^\circ$. Massa yang digunakan berupa baut-baut dengan berat dan ukuran yang bervariasi yang dimasukkan pada lubang tersebut. Pada teknik *single plane*, digunakan satu accelerometer sebagai pengukur getaran dan satu sensor *optical tachometer* sebagai pengukur sudut fase getaran. dimana kedua sensor tersebut telah terhubung dengan *vibration analyzer* Bentley Nevada Scout 100. Accelerometer dipasang secara radial karena yang sedang diukur adalah motor terindikasi *unbalance*, sensor pada posisi tersebut akan lebih peka dalam menangkap sinyal akibat kerusakan *unbalance*. Sementara sensor *fixed position* dipasang didekat posisi rotor. Sensor ini berfungsi sebagai pembaca sudut fase rotor yang berputar dan bekerja apabila pada salah satu sisi rotor diberi sebuah reflektor cahaya, ketika sensor mengenai reflektor maka sensor akan membaca posisi rotor pada sudut 0° . Setelah semua peralatan percobaan telah terpasang, kemudian dilakukan percobaan dengan langkah sebagai berikut:

1. Motor diputar pada kecepatan ± 1500 rpm.
2. Vibration analyzer diaktifkan pada mode balancing
3. Kemudian *vibration analyzer* melakukan pengukuran ketika putaran motor stabil dan diperoleh data magnitudo A_0 dan fase akibat massa *unbalance*.

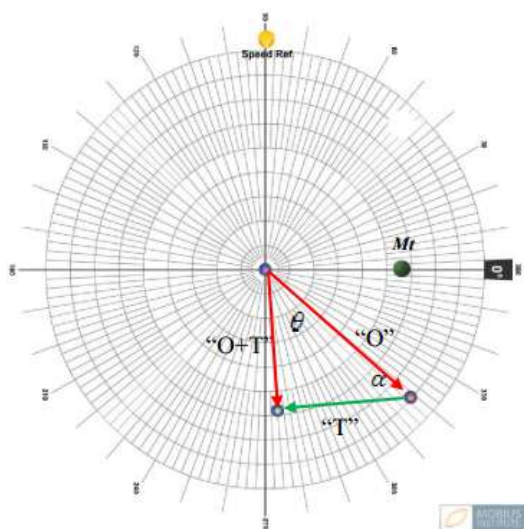
4. Kemudian, dilakukan pengukuran dengan menambahkan *trial weight* sebesar 50 gram pada *fixed position* 1 pada piringan pejal.
5. Motor kembali diputar pada kecepatan ± 2520 rpm.
6. *Vibration analyzer* melakukan pengukuran ketika putaran motor stabil dan diperoleh data magnitudo A_{O+T} dan fase akibat massa *unbalance* dan tambahan *trial weight*.

Dari pengukuran diatas didapatkan data magnitudo dan sudut fase dengan *trial* dan tanpa *trial weight* seperti tabel 1 yang kemudian dihitung secara matematis menggunakan analisis vektor.

Tabel 1 Hasil pengukuran ketika tanpa *trial* dan dengan *trial weight* pada motor

Pengukuran ke-	Tanpa <i>Trial weight</i> (um pk-pk)	Dengan <i>Trial weight</i> (um pk-pk)
1	781 @ 319.3 deg	572.8 @ 274.7 deg

Nilai magnitudo dan sudut fase yang berupa vektor kemudian diplot pada grafik polar pada gambar 4.



Gambar 4 Vektor *unbalance* + *trial weight*

Berdasarkan gambar 4 besarnya vektor A_T dapat diperoleh menggunakan persamaan vektor berikut:

$$(\vec{O} + \vec{T}) - (\vec{O}) = (\vec{T}) \quad (1)$$

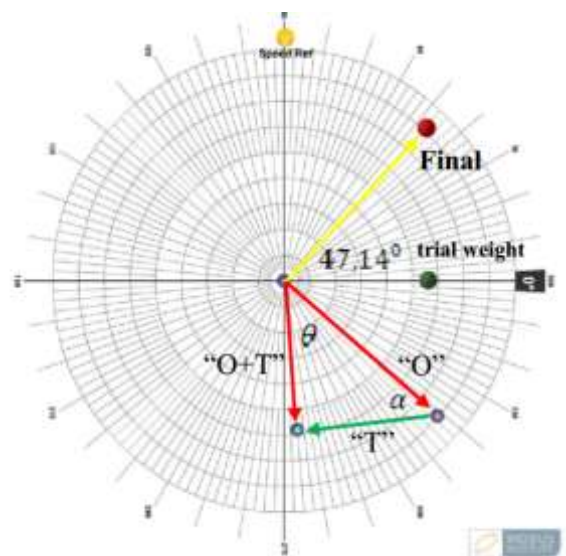
Vektor T menggambarkan vibrasi akibat *trial weight* yang terpasang pada rotor.

$$A_T = \sqrt{A_{O+T}^2 + A_O^2 - 2 \cdot A_{O+T} \cdot A_O \cdot \cos(\theta)} \quad (2)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{A_O^2 + A_T^2 - A_{O+T}^2}{2 \cdot A_O \cdot A_T}\right) \quad (3)$$

Menggunakan persamaan dua dan tiga, diperoleh nilai A_T sebesar 548,6360 mm/s pk-pk dan α sebesar 47,1451°.

Setelah didapatkan magnitudo dan fase akibat *trial weight*, selanjutnya motor dihentikan dan dilepaskan massa *trial* nya karena arah vektor telah didapatkan. Karena motor ini berputar berlawanan arah dengan jarum jam maka perlu ditambahkan massa pada sudut 47,1451° berlawanan arah jarum jam dari posisi *trial weight* diletakkan. Sehingga didapatkan vektor akhir dimana massa harus ditambahkan untuk mengurangi nilai magnitudo akibat *unbalance* seperti gambar 5. Setelah posisi dimana posisi akhir harus dipasang, maka besar massa akhir (M_f) yang diperlukan pada sudut tersebut juga harus dihitung.



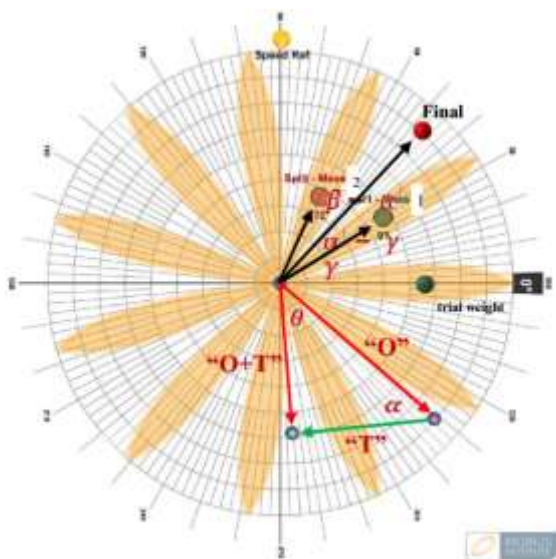
Gambar 5 Vektor massa dan sudut final

Karena besar massa dan magnitudo getaran adalah berbanding lurus, maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{M_f}{A_O} = \frac{M_T}{A_T} \quad (4)$$

Menggunakan persamaan 4 maka didapatkan nilai massa akhir yang harus dipasang pada sudut 47,14° adalah sebesar 71,1765 gram. Pemasangan massa *balancing* pada sudut 47,14°

dapat dilakukan dengan cara mengelas massa tambahan pada sudut tersebut. Tetapi hal tersebut sangat tidak disarankan karena pengelasan akan merusak *blade* tersebut sehingga dapat mengurangi efektifitas *heat transfer* pada motor dan juga beresiko terjadi arus pendek yang dapat menyebabkan koil motor rusak. *Balancing* hanya dapat dilakukan pada *blade* yang telah tersedia yakni sebanyak 11 buah. *Blade-blade* tersebut terdapat pada sudut dengan kelipatan $32,72^\circ$. Oleh karena massa *balancing* berada pada sudut yang bukan merupakan kelipatan $32,72^\circ$, maka massanya harus dibagi pada dua sudut terdekat dari sudut $47,14^\circ$. Sudut tersebut yakni $32,72^\circ$ dan $65,44^\circ$ pada proses *balancing*, proses ini biasa disebut sebagai *splitting weight*. Massa yang digunakan biasanya berupa baut dan mur yang dipasang pada lubang yang tersedia pada *blade*. Distribusi massa pada *blade-blade* tersebut dapat digambarkan dalam bentuk vektor grafik polar seperti berikut:



Gambar 6 Vektor massa dan komponen final yang harus dipasang

Dapat dilihat pada gambar 6 bahwa posisi masa final terletak diantara sudut β dan γ . Massa final dapat dipecah menjadi dua bagian pada kedua sudut tersebut menggunakan persamaan geometri sebagai berikut:

$$\frac{A_{mass1}}{\sin(\beta' - \alpha')} = \frac{A_r}{\sin(\gamma)} \quad (5)$$

$$\frac{A_{mass2}}{\sin(\alpha' - \gamma)} = \frac{A_r}{\sin(\gamma)} \quad (6)$$

Nilai massa dapat ditentukan berdasarkan rasio massa dan magnitudo dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$massa1 = \frac{A_{mass1} \cdot M_{final}}{A_r} \quad (7)$$

$$massa2 = \frac{A_{mass2} \cdot M_{final}}{A_r} \quad (8)$$

Setelah nilai-nilai dimasukkan pada persamaan 5 dan 6 didapatkan nilai $A_{mass1} = 318,795$ dan $A_{mass2} = 262,673$. Setelah nilai magnitudo didapatkan, kemudian dimasukkan kedalam persamaan 7 dan 8 dimana nilai Massa final (M_{final}) dan Magnitudo *Trial weight* (A_r) sudah diketahui sehingga didapatkan nilai massa 1 sebesar 41,3584 gram diletakkan pada *blade* kedua (sudut $32,72^\circ$) dan massa 2 sebesar 32,8702 gram diletakkan pada *blade* ketiga (sudut $65,44^\circ$) dengan menggunakan acuan sudut 0° adalah *blade* ke 1. Hasil perhitungan posisi dan massa *balancing* secara geometri tersebut mendekati nilai yang tercatat pada *vibration analyzer* yang digunakan pada saat *balancing*. *Vibration analyzer* merekomendasikan agar massa dipasang pada *blade* 2 sebesar 41,418 gram dan pada *blade* 3 sebesar 32,813 gram.

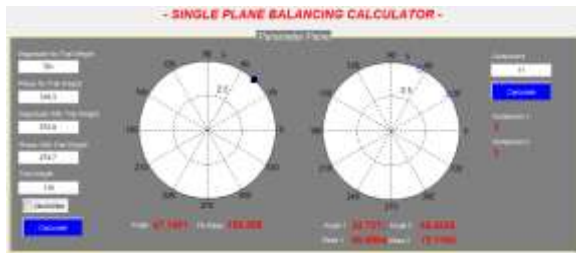


Gambar 7 Massa *balancing* pada blade motor

Tentu saja nilai ini tidak jauh berbeda dengan nilai sesuai perhitungan secara geometri.

Validasi Perhitungan Pada Rotor kit

Setelah dilakukan perhitungan secara vektor pada motor pompa pengendali banjir dan didapatkan hasil yang cukup baik, kemudian perhitungan diimplementasikan dalam bentuk program pada GUI Matlab 2014a. Dengan tampilan seperti berikut:

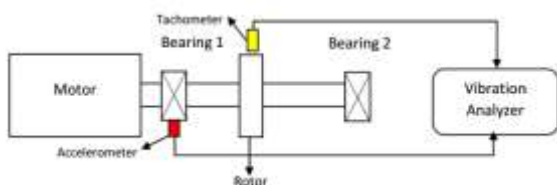


Gambar 7 Tampilan kalkulator *single plane balancing*

Pada kalkulator diatas, adapun beberapa parameter yang harus dimasukkan agar kalkulator dapat melakukan perhitungan dengan baik, antara lain:

1. Nilai magnitudo tanpa *trial weight*
2. Nilai fase tanpa *trial weight*
3. Nilai magnitudo dengan *trial weight*
4. Nilai fase dengan *trial weight*
5. Nilai *trial weight*
6. Arah putaran mesin
7. Jumlah *fixed position* (contoh: jumlah *blade*) pada motor.

Setelah parameter - parameter tersebut dimasukkan, kemudian program akan melakukan perhitungan sehingga program akan menghitung dimana *balancing* harus dilakukan dan berapa besar massa yang dibutuhkan. Program tersebut memiliki 2 fitur yakni, perhitungan tanpa komponen (*without fixed position*) dan dengan komponen (*fixed position*). Jika perhitungan dilakukan pada fitur tanpa komponen, maka program hanya menghitung besar sudut dan massa yang harus diberikan pada rotor. Berbeda jika fitur dengan komponen digunakan, maka program akan melakukan perhitungan di komponen ke berapa massa *balancing* harus dipasang dengan acuan sudut 0° adalah komponen ke 1. Untuk memvalidasi apakah program ini sudah tepat perhitungannya.



Gambar 8 Konfigurasi *Rotor kit*

Rotor kit adalah suatu plant mini mesin berputar yang terdiri dari motor AC sebagai penggerak, *shaft*, *bearing*, dan dua buah piringan pejal sebagai tempat meletakkan beban agar sistem menjadi *unbalance*. Percobaan ini dilakukan sebanyak 4 kali pengambilan data pada *rotor kit*. Menggunakan prosedur pengukuran yang sama

dengan pengukuran pada motor pompa pengendali banjir, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil pengukuran ketika tanpa *trial* dan dengan *trial weight*

Pengukuran ke-	Tanpa <i>Trial weight</i> (um pk-pk)	Dengan <i>Trial weight</i> (um pk-pk)
1	63.33 @ 122.3 deg	147 @ 132.8 deg
2	134.3 @ 320.5 deg	70.68 @ 331.0 deg
3	150.9 @ 288.4 deg	91.02 @ 253.7 deg
4	160 @ 264.4 deg	128.4 @ 230.7 deg

Dari data hasil perhitungan menggunakan alat dan perhitungan menggunakan kalkulator, didapatkan hasil *error* perhitungan massa dan *fixed position* seperti tabel sebagai berikut:

Tabel 3 *Error* perhitungan kalkulator

Pengukuran ke-	Plane Alat (gr #fixed)	Plane Kalkulator (gr #fixed)	<i>Error</i> massa	<i>Error</i> Fixed Post.
1	1,21 #10	1,21 #10	0	0
	0,2 #9	0,28 #9	0,08	0
2	2,08 #1	2,07 #1	0,01	0
	2,07 #16	2,07 #16	0	0
3	1,75 #3	1,75 #3	0	0
	1,59 #2	1,59 #2	0	0
4	2,31 #3	2,3 #3	0,01	0
	1,36 #4	1,35 #4	0,01	0
5	41,42 #2	41,35 #2	0,07	0
	32,81 #3	32,78 #3	0,03	0
Rata-rata <i>error</i>			0,02	0

Setelah rekomendasi posisi dan besar massa didapatkan dari kalkulator *balancing*, maka massa akhir tersebut dipasang pada komponen yang direkomendasikan dimana pada proses ini *trial weight* dilepas terlebih dahulu. Setelah semua terpasang dan *trial weight* telah dilepas, maka motor dijalankan kembali dan diukur nilai displacement-nya sehingga didapat data sebelum *balancing* dan sesudah *balancing* seperti pada tabel 4.

Tabel 4 Reduksi magnitudo setelah *balancing*

Pengukuran ke-	Initial (um pk-pk)	Result (um pk-pk)	Reduksi (%)
1	63,33	5,05	92,0259
2	134,3	57,51	57,17796
3	150,9	55,74	63,06163
4	160	28,6	82,125
5	781	139,6	82,12548
Rata-rata Reduksi			75,30319

Keterangan: hasil pengukuran motor pompa pengendali banjir

3 Analisa Data

Berdasarkan data pada tabel 4 program kalkulator *single plane balancing* yang dibuat berdasarkan persamaan geometri mempunyai tingkat keberhasilan yang cukup tinggi. Hal ini dibuktikan dengan kecilnya nilai *error* perhitungan oleh kalkulator jika divalidasi dengan perhitungan oleh *vibration analyzer* tipe Scout 100 yang diproduksi oleh Bentley Nevada. Nilai rata-rata *error* perhitungan kalkulator tersebut sebesar 0,021 dimana nilai *error* kalkulator ini hampir bernilai 0 jika divalidasi dengan alat tersebut. Nilai *error* pemasangan komponen bernilai 0 hal ini menunjukkan perhitungan kalkulator ini sudah sangat akurat. Performa *balancing* yang cukup tinggi juga ditunjukkan oleh kalkulator ini, hal ini dapat dilihat pada tabel 4 dimana rata-rata reduksi vibrasi akibat *unbalance* mencapai 75%. Bahkan

pada salah satu percobaan didapatkan nilai reduksi mencapai 92 %. Berdasarkan data diatas kalkulator ini bekerja sangat baik untuk *balancing*. Pada motor pompa pengendali banjir nilai reduksinya sebesar 85% dari nilai awal vibrasi. Nilai tersebut terjadi akibat penambahan massa yang diberikan tidak tepat 41,35 gram pada komponen 2 dan 32,78 gram pada komponen ketiga melainkan hanya 40 gram pada komponen 2 dan 30 gram pada komponen 3 sehingga kondisi *unbalance* masih terjadi karena masih terdapat nilai selisih massa rekomendasi dan massa yang terpasang sehingga distribusi massanya tidak sama rata. Selisih tersebut terjadi akibat massa yang tersedia mempunyai berat minimal hanya 10 gram sehingga selisih massa yang kecil menjadi diabaikan. Begitupula pada percobaan yang dilakukan pada *rotor kit*, dimana nilai reduksinya tidak sampai sempurna 100%, dikarenakan massa rekomendasi tidak tersedia pada *rotor kit* sehingga dilakukan pembulatan dalam pemasangan massa *unbalance* dimana hal tersebut mengakibatkan distribusi massa menjadi tidak merata dan kondisi *unbalance* masih terjadi.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dan analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses *single plane balancing* dengan metode analisis vektor menggunakan pengukuran beda fasa respon getaran, pada penelitian ini menghasilkan reduksi getaran antara 51% sampai dengan 92%.
2. Metode analisis vektor secara perhitungan geometri dapat diimplementasikan dalam program Matlab dan dapat digunakan pada proses *balancing* secara akurat dengan tingkat reduksi getaran antara 57 % sampai dengan 92 %.
3. Motor pompa pengendali banjir kembali normal setelah vibrasi akibat *unbalance* tereduksi sebesar 82 % dari nilai awalnya, dimana nilai overall vibrasinya turun menjadi 139,6 um pk-pk setelah dilakukan *balancing* teknik *single plane*.

5 Daftar Pustaka

- [1] Engineering Division Facilities Engineering Branch Denver Office. 1998. *Field Balancing Large Rotating Machinery*. United States Department of The Interior : Bureau, USA.
- [2] International Organization for Standardization 2003, *Mechanical vibration- Balance Quality*

- Requirements For Rotors In A Constant (Rigid) State, ISO 1940-1:2003, International Organization for Standardization, New Delhi.
- [3] MacCamhoil, Macdara. 1990. Static and Dynamic *Balancing* of Rigid Rotor. Bruel and Kjaer: Naerum, Denmark.
- [4] Mobley, R. K. 2002. An Introduction To Predictive Maintenance. Elsevier Science: USA
- [5] Norfield, Derek. 2006. Practical *Balancing* of Rotating Machinery, 1st Edition. Elsevier's Science & Technology Rights Department : Oxford, UK.
- [6] Ozegwu C.C, et al. 2012. zPure Analytical Approach to Rotational *Balancing*. Journal of Safety Engineering. University of Nnamdi Azikiwe: Awka, Nigeria

Penggunaan Motor BLDC pada Mesin CNC dengan Teknologi InstaSPIN-MOTION dari Texas Instrument

Jimmy Linggarjati Rudy Susanto

jimmyl@binus.edu

Abstrak

Dari Hibah Dikti, didapatkan pendanaan untuk melakukan eksperimen dengan motor BLDC dan belajar tentang bagaimana motor tersebut bekerja. Hasil utama dari penelitian ini adalah sebuah pembuktian bahwa teknologi InstaSPIN-Motion dari Texas Instruments, dapat diterapkan pada mesin CNC yang telah kita buat dengan dana dari Hibah Dikti. Tulisan ini juga mengulas tulisan-tulisan ilmiah sebelumnya tentang topologi dan algoritma kontrol dari motor BLDC. Hasil dari percobaan yang dilakukan dengan menggunakan kit evaluasi (yaitu: "The Low Voltage High Current Evaluation Kit" [4]) dari Texas Instrument, juga dilaporkan dalam tulisan ini
Kata kunci: Motor BLDC (Brushless DC), InstaSPINTM, InstaMotionTM, Mesin CNC (Computer Numerical Control).

1 Pengenalan Motor BLDC

Motor BLDC semakin banyak digunakan pada produk-produk disekitar kita, baik secara komersial maupun dalam dunia industri. Salah satu kelebihan dari motor BLDC dibandingkan dengan motor DC adalah efesiensi yang lebih baik dikarenakan ia tidak menggunakan brush (brushless). Dan, diikuti dengan kemajuan prosesor ARM (> 60 MHz), maka sistem kontrol elektronik motor BLDC menjadi lebih murah saat ini. Dengan dana kurang lebih 500 dolar Amerika, kita dapat membeli sebuah kit evaluasi motor dari Texas Instruments, seperti dapat dilihat pada gambar 1.



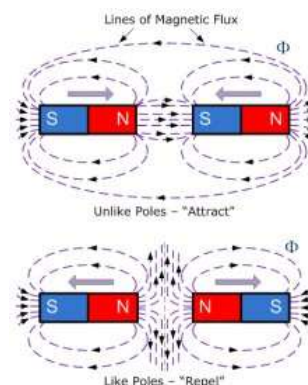
1.1 Ulasan Prinsip Kerja Motor [1]

Terdapat empat konsep dasar yang melandasi bagaimana sebuah motor listrik bekerja, yaitu:

Gaya Magnetik

Secara mendasar, gaya magnetik didapat dari suatu batang magnetic atau dari sebuah konduktor yang dialiri arus. Kutub magnet memiliki

garis magnetik yang bergerak dari kutub Utara ke kutub Selatan, seperti terlihat dari gambar 21



Gambar 2: Gaya Magnetik

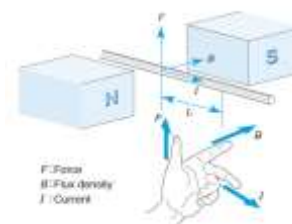
Aturan Tangan Kiri (Left Hand Rule)

Aturan Tangan Kiri digunakan untuk menentukan arah dari Gaya yang terjadi dalam sebuah konduktor yang berada didalam pengaruh medan magnet dari Utara ke Selatan. Gambar 32 mengilustrasikan gaya elektro-magnetik, akibat dari Aturan Tangan Kiri ini. Besarnya gaya ini (F) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

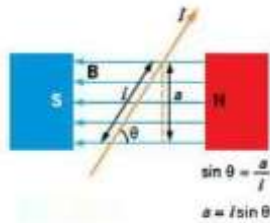
$$F = BIL \sin(\theta) \quad (1)$$

Dimana F adalah gaya elektro-magnetik, B adalah kerapatan medan magnetik, I adalah arus pada konduktor, L adalah panjang dari konduktor yang terpengaruh oleh kerapatan medan magnetik (B),

θ adalah sudut antara B dan L, seperti diilustrasikan pada gambar 4³



Gambar 3: Left Hand Rule



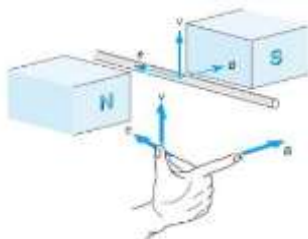
Gambar 4: B and L Relation

Aturan Tangan Kanan (Right Hand Rule)

Dikarenakan Aturan-Tangan-Kiri, dalam sebuah rancangan motor, maka terjadi sebuah pergerakan sudut dari konduktor yang berada dalam medan magnetik tersebut. Hal ini menimbulkan gaya elektro-motive lainnya, yang disebut dengan BEMF (Back Electro Motive Force). Besarnya gaya elektro-motive yang terserap oleh konduktor dikarenakan oleh medan magnetik, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E = BLv \sin(\theta) \quad (2)$$

Dimana E adalah gaya elektro-magnetik hasil induksi dengan satuan volt [V], v adalah kecepatan gerak dari konduktor tersebut dalam satuan meter per detik [m/s], θ sama seperti sebelumnya, adalah perbedaan sudut antara B dan L dalam satuan radian [rad]. Polaritas E terhadap B dan V, di-ilustrasikan dalam gambar 54.

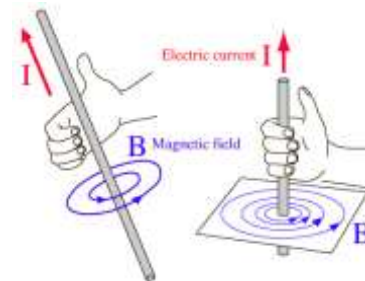


Gambar 5: Right Hand Rule

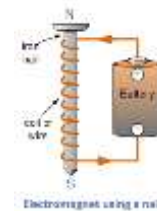
Aturan Sekrup Tangan Kanan

Jika sebuah arus DC mengalir melalui sebuah konduktor lurus, maka sebuah medan magnetik akan tercipta secara induksi, dimana arah dari medan magnetik tersebut mengikuti Aturan Sekrup Tangan Kanan, seperti terlihat pada gambar 65. Namun dalam sebuah aplikasi solenoid, konduktor tersebut dibentuk menyerupai koil. Oleh karena itu, arusnya membentuk koil. Kutub magnetik yang dihasilkan dari arus koil dapat ditentukan juga dengan menggunakan Aturan Sekrup Tangan Kanan, seperti terlihat pada gambar 76. Keuntungan arus-koil adalah Kerapatan Medan Magnet (B) yang lebih besar,

dimana arah kutub Utara - Selatan dapat ditentukan dengan Aturan Sekrup Tangan Kanan ini.



Gambar 6: Aturan Sekrup Tangan Kanan (Right Hand Cork Screw Rule)



Gambar 7: Konduktor dalam Loop

1.2 Kemajuan Teknologi Penggerak Elektronik

Tulisan [2] merangkum kemajuan teknologi penggerak elektronik yang digunakan pada motor BLDC. Dari tulisan tersebut, terdapat beberapa istilah yang digunakan khusus pada motor BLDC. Dari pencarian-web terhadap terminologi yang digunakan dalam [2], kita menemukan tulisan lainnya yang terkait dengan penelitian di bidang motor BLDC. Topologi sistem kontrol dalam BLDC terbagi dua yaitu VSI (Voltage Source Inverter) and CSI (Current Source Inverter). Sementara konstruksi rotor motor BLDC juga terbagi dua kategori utama, yaitu rotor tipe Pemasangan-pada-permukaan (Surface-mounted magnet) dan rotor tipe magnet terbenam (Embedded magnet) [3].

Dari sudut pandang eksperimen, kita memilih perangkat-pengembangan (development kit) dari Texas Instrument (TI) [4]. Alasan utama dalam memilih produk tersebut adalah karena perangkat tersebut memiliki dokumentasi yang baik dari TI, sehingga kita tidak perlu membuat program dari awal, dan dapat berkonsentrasi pada cara kerja dasar dari motor BLDC tersebut.

Dalam teknik kontrol dari motor BLDC, terdapat banyak ide-ide cemerlang terkait algoritma dan sistem kontrol elektronik dari motor BLDC. Salah satu ide yang paling banyak di diskusikan adalah

Pada eksperimen pertama ini, kita mendapatkan dua parameter penting dari sebuah motor tertentu, yaitu motor Tamagawa 400W. (seperti terlihat pada gambar 9):

2. Resistansi (2.209746 Ohm)
3. Induktansi (0.006565256 Henry)
4. Lab 5c – Identifikasi Inersia menggunakan InstaSPIN-MOTION (*Inertia Identification*)
Dari eksperimen ini, kita mendapatkan inersia dari sistem motor Tamagawa 400W, dengan menggunakan piranti lunak instaSPIN-MOTION. Hasil dari eksperimen ini adalah dua nilai penting, terkait inersia dan gaya-gesek pada motor BLDC ini:
5. Inersia: 0.1514648795
6. Gesekan: 0.4883004427
Kedua nilai ini diambil saat motor BLDC terhubung secara mekanik pada salah satu axis dari mesin CNC.

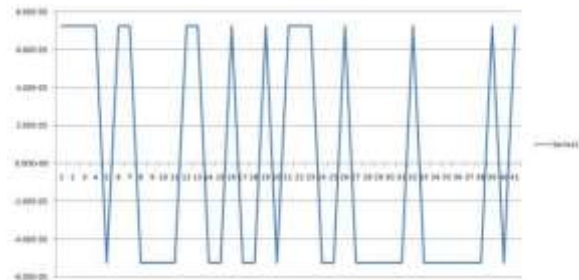
7. Lab 5e – Penalaan Sistem Kontrol Kecepatan dengan InstaSPIN-MOTION
Pada eksperimen ini, sistem lebar-pita diatur pada angka 40 rad/s. Lebar-pita dari sistem adalah sebuah pengukuran tentang seberapa cepat sistem ini menanggapi gangguan lain, sebagai contoh dari kondisi tanpa-beban ke sebuah kondisi dengan- beban, atau sebaliknya. Namun lebar-pita yang terlalu tinggi, dapat menyebabkan dapat menyulitkan sistem untuk berubah ke posisi tertentu, dan ini dapat menyebabkan osilasi pada sistem tersebut.
8. Lab 12a – Identifikasi Inersia dengan Sensor Encoder
Seperti pada Lab 5c, dalam eksperimen ini, kita mengukur inersia dari sistem.

Perbedaannya adalah sebuah encoder digunakan sebagai umpan-balik posisi rotor dari motor BLDC. Dengan menggunakan encoder, estimator posisi tidak lagi diperlukan. Eksperimen ini menghasilkan data sebagai berikut:

9. Inersia: 0.1315711141
10. Gesekan: 0.1667294502
11. Lab 12b – Penggunaan InstaSPIN-MOTION dengan Sistem Sensor Encoder
Pada eksperimen ini, kita menggunakan sebuah sistem kontrol kecepatan pada motor BLDC dengan teknologi InstaSPIN-MOTION. Dari hasil pengamatan, maka

dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan encoder sebagai sensor posisi motor BLDC dapat digerakkan dari posisi diam, dan ia memiliki respons yang lebih baik pada kecepatan rendah, dibandingkan dengan penggunaan *FAST Estimator* [4].

12. Lab 13a – Penalaan InstaSPIN-MOTION sebagai Kontrol Posisi



Gambar 10: Selisih Kesalahan Posisi Terukur dari Sistem Kontrol Posisi

Eksperimen ini adalah percobaan terakhir yang perlu kita coba, sebelum kita menambahkan dan mengubah kode program, agar dapat bekerja dengan mesin CNC. Pada lab 13a ini, kita menggunakan library tambahan bernama SpinTAC Position Control, untuk memerintahkan motor BLDC agar bergerak ke suatu posisi tertentu. Library SpinTAC, memiliki dua fungsi utama yang akan digunakan, yaitu: STPOSCTL_setPositionReference_mrev() dan STPOSConv_run(). Dari hasil eksperimen ini, kita dapat simpulkan bahwa sistem kontrol posisi dengan InstaSPIN- MOTION, telah bekerja dengan baik pada motor Tamagawa 400W, dengan menggunakan sebuah lebar-pita 40 rad/s. Gambar 10 menunjukkan data kesalahan posisi yang diambil dari piranti lunak InstaMotion dari Texas Instrument8. Jangkauan dari kesalahan posisi berada dalam batasan $\pm 7 \times 10^{-5}$ mm, dimana angka tersebut berada dalam toleransi mekanik dari mesin CNC [19], untuk dapat dianggap sebagai posisi diam

Dari Hibah Dikti (hibah pemerintah), kita telah menghasilkan sebuah mesin CNC (lihat gambar 11) yang menggunakan piranti lunak LinuxCNC. Sinyal kontrol yang dikeluarkan oleh Linux CNC berupa sinyal step dan dir(ection). Oleh karena itu, agar dapat menerima sinyal step dan dir, kita gunakan dua interrupt pada input pin INTR1 dan INTR2. Lalu sinyal step, dihitung dan dikirim ke fungsi STPOSCTL_setPositionReference_mrev(), sehingga motor BLDC dapat bergerak ke posisi yang di-instruksikan tersebut.



Gambar 11: Mesin CNC 3 Axis – LinuxCNC

Dari gambar yang dihasilkan oleh mesin CNC dengan menggunakan penggerak motor BLDC (lihat gambar 12), maka dapat dilihat bahwa kit evaluasi dari Texas Instrument [4], mampu mengikuti pergerakan posisi yang diinginkan oleh LinuxCNC, dengan keakuratan yang sama dengan ukuran gambar pada komputer. Oleh karena itu, tujuan utama dari penggunaan motor BLDC dalam mesin CNC telah tercapai dengan baik.



Gambar 12: Pola Gambar Kotak dengan Penggerak Motor BLDC

3 Kesimpulan

Dengan Hibah Dikti 2015, kita telah mampu menggunakan motor BLDC sebagai penggerak axis dalam mesin CNC. Meskipun penelitian ini tidak menghasilkan algoritma sistem kontrol motor BLDC baru, namun kita bangga menjadi peneliti pertama dalam area motor BLDC di dalam universitas Bina Nusantara. Praktikum untuk melakukan eksperimen pada motor Synchronous diperlukan dalam dunia pendidikan dan industri secara umum. Tanpa praktikum tersebut, sebuah penelitian mendalam terkait motor BLDC akan menjadi sulit. Dan akibatnya, industri yang tidak mendukung pendidikan dalam teknologi motor synchronous, tidak akan dapat bertahan dalam persaingan dunia.

4 Ucapan Terima Kasih

Penelitian experimental ini, pada motor Servo BLDC, tidak akan dimungkinkan tanpa bantuan hibah dari Hibah Bersaing Dikti 2015 dan dukungan laboratorium jurusan Sistem Komputer Universitas Bina Nusantara

5 Daftar Pustaka

- [1] Jian Zhao/Yangwei Yu, Brushless DC Motor Fundamentals Application Note, AN047, July 2011.
- [2] State of the Art on Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives - Journal of Power Electronics, Vol. 9, No. 1, January 2009.
- [3] Sakae Yamamura, Saliency torque and V-curve of permanent-magnet-excited synchronous motor - June 13 2000 - Proc. Japan Acad, 76, Ser. B (2000).
- [4] Three Phase BLDC & PMSM Motor Kit with DRV8301 and InstaSPIN-enabled Piccolo TMS320F28069M MCU,
- [5] <http://www.ti.com/tool/drv8301-69m-kit> (accessed on 7th November 2014).
- [6] What is FOC and what good is it, <http://www.maccon.de/fileadmin/ftp/rooft/Field-Oriented-Control.pdf> (accessed on 7th November 2014).
- [7] Bilal Akin and Manish Bhradwaj, Sensorless Trapezoidal Control of BLDC Motors, Texas Instruments.
- [8] Bilal Akin and Manish Bhradwaj, Sensorless Field Oriented Control of 3-Phase Permanent Magnet Synchronous Motors, Texas Instruments.
- [9] InstaSPIN Projects and Labs User Guides - MotorWare™ Software, <http://www.ti.com/tool/motorware>.
- [10] Finn Haugen, Ziegler-Nichols™ Closed-Loop Method, <http://techteach.no>
- [11] Yun Li ; Glasgow Univ., UK ; Kiam Heong Ang ; Chong, G.C.Y., Patents, software and hardware for PID control: an overview and analysis.
- [12] Yun Li ; Glasgow Univ., UK ; Kiam Heong Ang ; Chong, G.C.Y., PID Control System analysis and design.
- [13] Sigurd Skogestad, Probably the best simple PID tuning rules in the world.
- [14] A. Purna Chandra Rao, Y. P. Obulesh, Ch. Sai Babu - Mathematical Modeling Of BLDC Motor With Closed Loop Speed Control Using PID Controller Under Various Loading Conditions - ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 7, No. 10, October 2012 ISSN 1819-6608.
- [15] Chaoji Chen, Na Zhao, Hongtao Jin, Yongjin Zhao - Design and Implementation of the Servo

- Control System Based on DSP - Computer and Information Science - Vol. 3, No. 4; November 2010.
- [16] Radu Duma, Mirela T., Petru Dobra - BLDC motor control using rapid control prototyping, CEAI, Vol.12, No.1, pp. 55-61, 2010.
- [17] Longya Xu, Minghua Fu, Li Zhen - A DSP Based Servo System Using Permanent Magnet Synchronous Motors (PMSM) - The Ohio State University Department of Electrical Engineering 2015 Neil Avenue Columbus, OH 43210.
- [18] Radu Duma, Petru Dobra, Mirela Trusca, Dorin Petreus, Daniel Moga - Towards a Rapid Control Prototyping Toolbox for the Stellaris LM3S8000 Microcontrollers; Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy) August 28 - September 2, 2011.
- [19] Matthias Blank, Philipp Lhdefink, Benjamin Reinhardt, Armin Dietz - Evaluation Of A New Microcontroller Based Solution For Sensorless Control Of Electrical Drives, Proceedings of the 6th European Embedded Design in Education and Research, 2014.
- [20] Jimmy Linggarjati; Rinda Hedwig, Manually Interchangeable Heads of Homemade Computer Numerical Control (CNC) Machine- Internetworking Indonesia Journal - Vol.4/No.1 B (2012).
- [21] P.M. Meshram, Rohit G. Kanojiya - Tuning of PID Controller using Ziegler-Nichols Method for Speed Control of DC Motor - IEEE- International Conference On Advances In Engineering, Science And Management (ICAESM -2012) March 30, 31, 2012.

Kajian *Injection locking* Untuk Pengurangan Pengaruh Derau Fasa Pada Osilator CMOS

Ceri Ahendyarti, Prapto Nugroho, Risanuri Hidayat

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika 2, Yogyakarta 55281

ceri.ahendyarti.sie13@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Kebutuhan telekomunikasi yang meningkat dengan daya rendah dan kinerja yang cepat dan biaya pembuatan yang murah tentunya membuat tantangan tersendiri bagi para peneliti untuk membuatnya. Osilator cincin adalah pilihan yang tepat jika diterapkan pada teknologi CMOS, tetapi tingginya derau fasa yang bisa merusak sinyal keluaran yang diinginkan. Hal ini merupakan tantangan untuk para peneliti untuk membuat derau fasa yang semakin rendah. Makalah ini mendiskusikan tentang salah satu cara mengurangi derau fasa pada osilator yaitu dengan *injection locking* (penguncian suntikan).

Kata Kunci: *injection locking, ring oscillator, phase noise*

1 Pendahuluan

Komunikasi adalah hal yang sangat penting dalam hidup ini. Tanpa adanya alat komunikasi kita akan sangat kesulitan untuk berkomunikasi untuk kepentingan tertentu. Dari waktu ke waktu alat komunikasi sangat berkembang pesat di dunia elektronis. Alat komunikasi dahulu yang masih menggunakan kabel telah lama ditinggalkan karena kehadiran teknologi wireless. Komunikasi jarak dekat seperti Bluetooth atau WLAN (Wireless Local Area Network) yang telah menggantikan teknologi komunikasi dengan kabel yang sangat lama [1]–[8].

Osilator adalah komponen dasar dari sistem komunikasi. Dan osilator juga komponen penting yang selalu ada pada blok rangkaian alat telekomunikasi seperti phase-locked loop (PLL) yang digunakan dalam frequency synthesizer dalam blok rangkaian pemancar penerima di sistem telekomunikasi nirkabel. Osilator juga digunakan sebagai pembangkit detak (clock) dalam sistem komputer [9]. Skema pemancar penerima nirkabel yang umum digunakan ditunjukkan oleh Gambar 1. 30 tahun yang lalu kebanyakan orang memilih Colpitts Oscillators untuk kebutuhan frekuensi tinggi yaitu pada range megahertz (MHz) dan bipolar junction transistor (BJT) bekerja untuk perangkat aktif. Baru-baru ini perkembangan komunikasi wireless dan kemajuan pada teknologi Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) memungkinkan untuk

mengimplementasikan frekuensi tinggi pada teknologi CMOS [9].

Perkembangan teknologi telekomunikasi nirkabel ini juga telah meningkatkan jumlah slot kanal frekuensi pada aplikasi telepon selular. Hal ini membuat jarak antar frekuensi menjadi semakin kecil sehingga diperlukan osilator dengan phase noise (derau fasa) yang makin kecil. Demikian juga dalam perkembangan sistem komputer dimana kecepatan detak menjadi semakin tinggi, maka diperlukan osilator dengan timing jitter yang sangat kecil. Phase noise dan jitter adalah istilah yang berhubungan dengan stabilitas osilator dimana phase noise mendeskripsikan stabilitas dalam kawasan frekuensi sedangkan jitter dalam kawasan waktu. Dalam tulisan ini digunakan istilah phase noise.



Gambar 1. skema pemancar penerima nirkabel yang umum digunakan

Guna mengurangi derau fasa banyak cara yang bisa dilakukan salah satunya dengan *injection locking* (penguncian suntikan). *Injection locking* ini adalah Penekanan pada fase-noise merupakan salah satu sifat penting dari osilator injeksi-clock [10]. Pada kajian ini akan dibahas sesi 1. Pendahuluan 2. Rangkaian Osilator khususnya Ring Oscillator (osilator cincin), sesi 3. Derau fasa (phase noise) dan sesi 4 *injection locking* (penguncian suntikan) dan yang terakhir sesi 5 adalah kesimpulan kajian.

2 Rangkaian Osilator

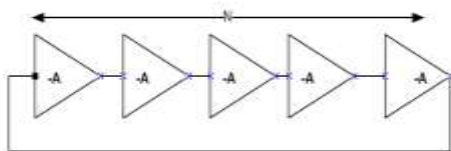
Osilator adalah bagian keseluruhan yang penting dari banyak sistem elektronik. Pemakaian atau

aplikasinya mempunyai rentang yang luas mulai dari generasi detak pada mikroprosesor untuk carrier synthesizer pada telepon seluler kebutuhan proses yang semakin cepat, perbedaan topologi dan parameter kinerja yang dibutuhkan. Perancangannya yang diaplikasikan pada teknologi CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) yang menambah tantangan untuk membuat yang lebih baik dari segi kecepatan, topologi dan ukuran [11].

Osilator mempunyai beberapa macam bentuknya namun pada teknologi CMOS yang sekarang secara khas diimplementasikan adalah osilator cincin dan osilator LC.

Osilator cincin adalah osilator tanpa induktor yang dihubungkan dengan koneksi cincin. Osilator ini tidak digunakan secara luas dalam aplikasi frekuensi radio karena memiliki phase noise yang lebih tinggi dibandingkan osilator LC. Akan tetapi, osilator ini dapat diintegrasikan dalam sebuah chip dengan mudah dan tidak memakan tempat sebagaimana osilator LC, sehingga memungkinkan untuk membuat chip yang kecil dan lebih murah. Osilator ring juga mempunyai karakteristik rentang tala yang lebar dan mampu membangkitkan sinyal keluaran quadrature tanpa memerlukan rangkaian tambahan [9], [11]–[14].

Oleh karena itu ring oscillator sering diaplikasikan pada teknologi CMOS. Gambar 2 menunjukkan osilator ring dengan jumlah N amplifier stage.

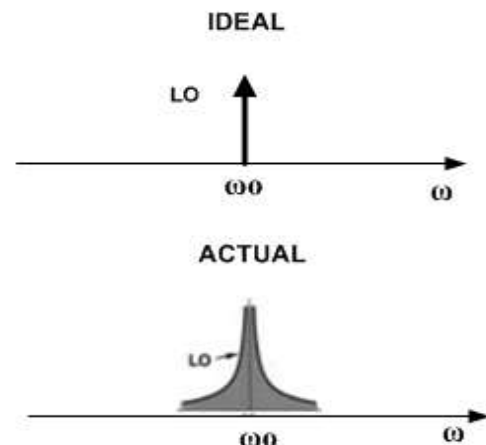


Gambar 2. osilator ring dengan jumlah n amplifier stage

3 Phase Noise (Derau Fasa)

Derau fasa secara umum dikarakteristikkan pada kawasan frekuensi. Osilator yang ideal beroperasi pada ω_0 , spektrum mengasumsikan bentuk dari impuls, dimana actual osilator, spektrum memamerkan skirts disekeliling atau pusat dari frekuensi carrier.

Satu hal yang penting diketahui dari derau fasa adalah, jika receiver berisi low noise amplifier, band pass filter dan sebagainya yang ditunjukkan pada Gambar 3, jika osilator lokal keluaran berisi phase noise dan keduanya upconverted dan down converted sinyal akan rusak [13].

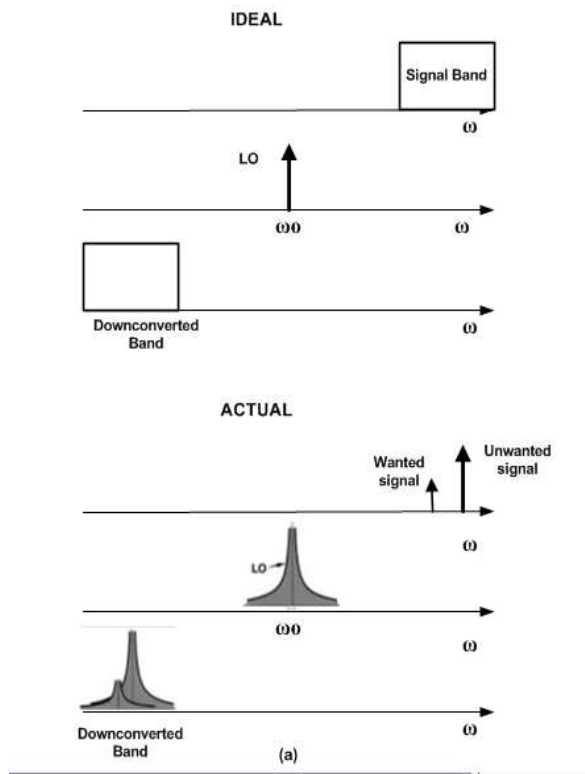


Gambar 3. osilator ideal dan osilator yang ada sebenarnya terdapat derau

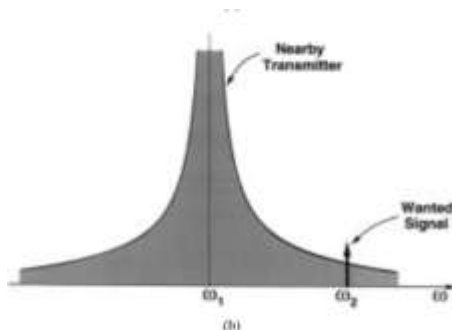
Efek dari derau fasa pada jalur pengirim atau (transmitter) sedikit berbeda. Andaikan penerima tidak berderau akan mendeteksi sinyal yang lemah pada ω_2 ketika energi penuh, daerah dekat transmitter membuat menghasilkan sinyal pada ω_1 dengan derau fasa substantial. Kemudian sinyal yang diinginkan atau sinyal keluaran akan rusak atau korup oleh derau fasa pada ujung transmitter (pengirim). Seperti kebutuhan yang penting bisa bertemu melalui kegunaan osilator LC. Gambar 4(a) menunjukkan sinyal ketika ada derau, sedangkan Gambar 4(b) menunjukkan sinyal dengan derau.

4 Injection Locking (Suntikan Pengunci)

Injection locking dengan sumber derau rendah dapat mengurangi derau fasa pada osilator. Dari perspektif kawasan waktu, efek dari pensinkronan dari isi *injection* sendiri sebagai koreksi dari zero crossing dari osilator disetiap periodenya, dengan cara demikian merendahkan akumulasi dari jitter. Pemaparan ini bisa mengungkapkan tentang pengurangan derau fasa sesuai dengan level *injection*, dan ini bisa mencapai maksimum untuk $\omega_{inj} = \omega_o$ (pada Gambar 5 (a) dimana pada zero crossings dari I_{inj} sangat berpengaruh pada I_{osc}) dan minimum untuk $\omega_{inj} = \omega_o \pm \omega_L$ (pada Gambar 5b dimana crossing zero dari I_{inj} bertepatan dengan titik zero-slope pada I_{osc} [14].

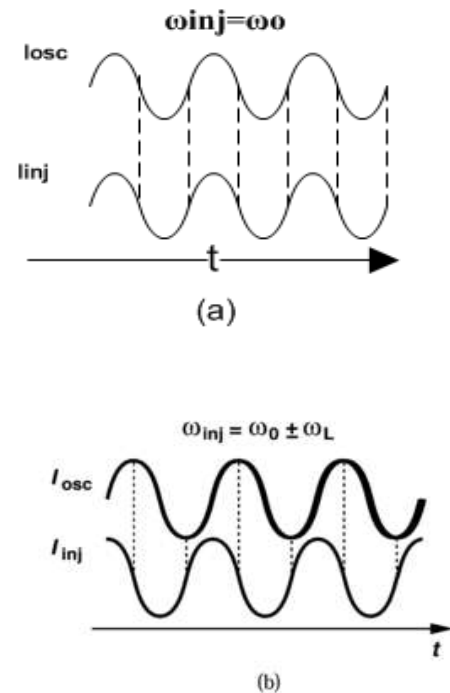


Gambar 4(a). sinyal ketika ada derau

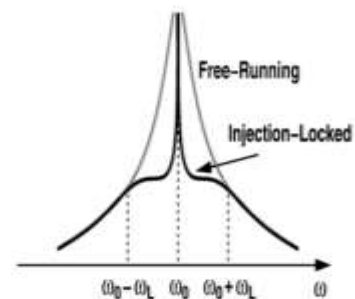


Gambar 4(b). sinyal dengan derau

Phase noise atau derau fasa pada rangkaian teknologi CMOS sulit sekali untuk menyampaikan atau menunjukkan pengurangan derau fasa pada proses *injection locking*. Karena sejak rentang penguncian secara khas adalah cukup kecil dan frekuensi alami dari osilator dapat menimbulkan error yang signifikan pada proses variasi atau besar dan pemodelan yang masih kurang dan sedikit, apalagi bila terjadi penguncian hanya pada pinggiran dari rentang penguncian (lock range), dengan demikian pengurangan derau fasa hanya sedikit sekali.



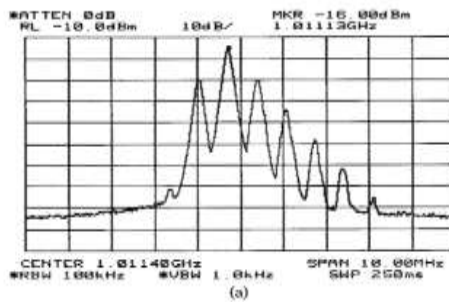
Gambar 5. secara konsep sinyal osilator dan sinyal setelah diberi *injection locking*



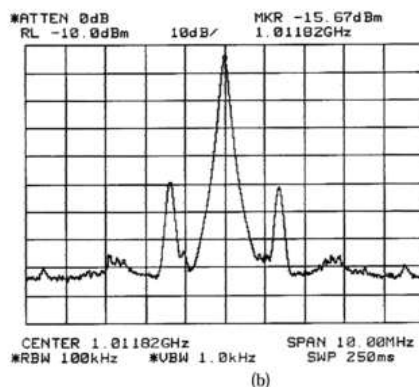
Gambar 6. pengurangan derau fasa karena pengaruh *injection locking* [14]

Pada percobaan yang dilakukan oleh behzard razavi memberikan level injeksi level kurang lebih 53dB dibawah level osilasi. Dan sideband menjadi simetris karena loop tertutup.yang ditunjukkan oleh gambar 7(a).yaitu gmbar sebelum phase *locking* (penguncian fasa). Gambar 7(b) setelah dilakukan phase *locking* (penguncian fasa), pada gambar ini ω_{inj} sedikit lebih lebar dari sebelumnya.

Karena jika ω_{inj} bergerak keatas ω_0 , maka sideband kanan akan menjadi semakin besar. Selain itu menyatakan bahwa sisa spectrum akan simetris meski terjadi pengisian arus yang sangat kecil, tetapi sideband akan bertambah jumlah dan pada nilai magnitude.



Gambar 7(a). sebelum dilakukan *phase locking* (penguncian fasa) [14]



Gambar 7(b). setelah dilakukan *phase locking*

[14]

Injection-locked dikembangkan untuk memperkuat frekuensi gelombang milimeter upconverted [15]. Guna meningkatkan efisiensi injeksi dan jangkauan penguncian untuk pembagian frekuensi superharmonic [16]. *Injection locking* digunakan mengurangi derau fasa pada osilator [10], [12], [14]–[21]. [22]

5 Kesimpulan

Kajian ini memberikan gambaran bahwa salah satu cara yang sering digunakan untuk mengurangi derau fasa pada osilator cincin (*Ring Oscillator*) adalah dengan cara suntikan penguncian (*injection locking*).

Telah dibuktikan pada [10], [12], [14]–[21] telah diujicobakan bahwa *injection locking* adalah salah satu cara untuk mengurangi derau fasa. Tetapi banyak cara lain yang bisa mengurangi derau fasa contohnya membuat keluaran quadrature, dan semua diaplikasikan sesuai kebutuhan dari osilator.

6 Daftar Pustaka

- [1] M. S. Asghar, "Institutionen för systemteknik Department of Electrical Engineering," 2012.
- [2] J. Bank, *A Harmonic-Oscillator Design Methodology Based on Describing Functions*. 2006.
- [3] W. M. Chun, "Inductor-less Frequency Synthesizer for Bluetooth Application By," 2002.
- [4] D. S. Douglas, "Cmos Ic o," 2008.
- [5] C. D. Group, "Design of CMOS ring oscillator," vol. 1, no. 95, pp. 1–95, 2005.
- [6] G. Guo, "Oscillators with Constant Frequency over," 2012.
- [7] D. Murugan, "Institutionen för systemteknik Design of a Voltage Controlled Oscillator for Galileo / GPS Receiver," 2012.
- [8] H. J. (concordia university) Yao, "S2 Low Phase Noise VCO.pdf." 2006.
- [9] P. Nugroho, "Rangkaian Osilator Cincin dengan Sinyal Keluaran Quadrature untuk Aplikasi Komunikasi Nirkabel," vol. 1, no. 2, 2012.
- [10] R. Melville, D. Long, V. Gopinathan, and P. Kinget, "An Injection Locking Scheme for Precision Quadrature Generation."
- [11] B. Razavi, "Book-Design-of-Analog-CMOS-Integrated-Circuits-Behzad-Razavimarcado.pdf." Los Angeles, 2001.
- [12] R. Dehghani and S. M. Atarodi, "A Low Power Wideband 2 . 6GHz CMOS Injection-Locked Ring Oscillator Prescaler," pp. 6–9, 2003.
- [13] B. Razavi, "A Study of Phase Noise in CMOS Oscillators," vol. 31, no. 3, pp. 331–343, 1996.
- [14] B. Razavi, "A Study of Injection Locking and Pulling in Oscillators," vol. 39, no. 9, pp. 1415–1424, 2004.
- [15] M. M. Gourary, S. G. Rusakov, S. L. Ulyanov, M. M. Zharov, B. J. Mulvaney, and K. K. Gullapalli, "Analysis of Oscillator Injection Locking by Harmonic Balance Method," pp. 318–323, 2008.
- [16] R. Oscillators, W. M. Injection, J. Chien, S. Member, and L. Lu, "Analysis and Design of Wideband Injection-Locked," vol. 42, no. 9, pp. 1906–1915, 2007.
- [17] M. K. Kazimierzczuk, V. G. Krizhanovski, S. Member, J. V. Rassokhina, and D. V. Chernov, "Injection-Locked Class-E Oscillator," vol. 53, no. 6, pp. 1214–1222, 2006.
- [18] J. Lee and H. Wang, "Study of Subharmonically Injection-Locked PLLs," vol. 44, no. 5, pp. 1539–1553, 2009.
- [19] F. Ramírez, M. Pontón, and S. Sancho, "Phase-Noise Analysis of Injection-Locked Oscillators and Analog Frequency Dividers," vol. 56, no. 2, pp. 393–407, 2008.

- [20] H. R. Rategh, S. Member, and T. H. Lee, "Superharmonic Injection-Locked Frequency Dividers," vol. 34, no. 6, pp. 813–821, 1999.
- [21] M. Waves, "INJECTION LOCKED MILLIMETER WAVE OSCILLATORS AT Ka, V, AND W-BANDS S. Ramakrishnan and S. S. Sarin," vol. 20, no. 3, pp. 453–459, 1998.
- [22] I. T. Ag and Ó. Đ. Đ. Ø. Ó. Ö. Ø. Ý, "A 50 GHz direct injection locked oscillator topology as low power frequency divider in 0.13 μ m CMOS," pp. 1–4.

Rancang Bangun Modul Kontrol Simulator Refrigerasi Adsorpsi Berbasis Arduino dan Labview

Solehudin^{1,2}, I Made Astina^{1,3}

¹Program Studi Teknik Mesin, FTMD, Institut Teknologi Bandung, Jl Ganesha 10, Bandung

²soldien.pml@gmail.com, ³astina@ftmd.itb.ac.id

Abstrak

Refrigerasi Adsorpsi adalah mesin refrigerasi yang memanfaatkan fenomena adsorpsi-desorpsi untuk menaikkan tekanan refrigeran. Mesin ini menggunakan bed adsorpsi sebagai pengganti kompresor. Berbeda dengan kompresor yang membutuhkan sumber energi listrik, bed adsorpsi membutuhkan pasokan panas untuk beroperasi. Sumber panas yang diperlukan dapat berasal dari berbagai panas buang yang belum dimanfaatkan. Oleh karena itu mesin refrigerasi ini dapat dijadikan sebagai salah satu solusi penghematan energi sekaligus mengurangi pemanasan global.

Seiring perkembangan mesin refrigerasi adsorpsi, teknologi kontrol juga perlu dikembangkan untuk mengoptimasi kinerjanya. Pada paper ini, perancangan dan pembuatan sistem kontrol akan dibahas untuk menyimulasikan mesin refrigerasi adsorpsi dua bed. Sistem kontrol ini berdasarkan arduino yang terintegrasi dengan perangkat lunak labview sebagai sarana interaksi antara sistem dan pengguna. Sistem ini mampu menyimulasikan mesin refrigerasi adsorpsi melalui pengontrolan buka tutup katup dan pemanasan dan pendinginan kedua. Pada simulasi kontrol mesin refrigerasi ini digunakan *thermoelectric cooler* (TEC) sebagai pengganti sumber panas untuk memanaskan sekaligus mendinginkan.

Kata Kunci: Refrigerasi adsorpsi, thermoelectric cooler, arduino, labview, katup solenoid

1 Pendahuluan

Mesin refrigerasi adsorpsi dapat menjadi solusi penghematan energi. Hal ini dikarenakan mesin refrigerasi jenis ini tidak membutuhkan banyak energi listrik untuk beroperasi. Energi listrik yang biasa digunakan untuk menggerakkan kompresor, digantikan oleh energi panas untuk memanaskan bed adsorpsi. Energi panas yang diperlukan dapat berasal dari sumber panas buang yang belum dimanfaatkan. Menimbang keunggulan mesin refrigerasi adsorpsi, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan termasuk pengembangan teknologi kontrol penunjang kinerjanya.

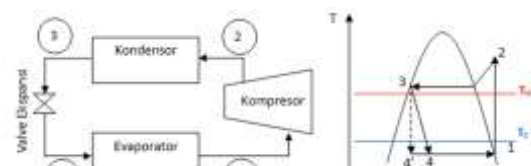
Untuk beroperasi secara kontinu sebuah bed adsorpsi harus dipanaskan dan didinginkan secara bergantian dan periodik. Penggunaan 2 bed adsorpsi pada mesin refrigerasi ini telah dikembangkan oleh Jati Purnomo[2] dan

pengujiannya menggunakan pasangan karbon aktif dan R-134a. Selain itu arah aliran refrigeran pada mesin refrigerasi adsorpsi juga harus diatur dengan cara mengatur buka tutup katup. Pada simulator kontrol mesin refrigerasi adsorpsi ini, balok aluminium digunakan sebagai pengganti bed adsorpsi dan TEC sebagai pengganti sumber panas.

Penggunaan TEC pada mesin refrigerasi adsorpsi juga telah dilakukan oleh Chua dkk[2]. Mesin refrigerasi yang mereka kembangkan hanya menggunakan 1 kondensor yang terpisah dari efek pendinginan TEC, sedangkan simulator yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan 2 kondensor yang masing-masing terhubung dengan bed adsorpsi. Dengan demikian pendinginan kondensor dapat mengambil efek dingin dari TEC.

2 Prinsip Kerja Refrigerasi Adsorpsi

Untuk menjelaskan prinsip kerja mesin refrigerasi adsorpsi, akan lebih mudah terlebih dahulu menjelaskan prinsip kerja mesin kompresi uap yang umumnya digunakan mesin-mesin refrigerasi saat ini di masyarakat. Mesin refrigerasi kompresi uap terdiri dari empat komponen utama, yaitu: kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Fluida pendingin (refrigeran) akan mengalir melewati komponen-komponen tersebut sehingga membentuk siklus refrigerasi. Gambar 1 memperlihatkan skema dan proses-proses siklus refrigerasi kompresi uap.

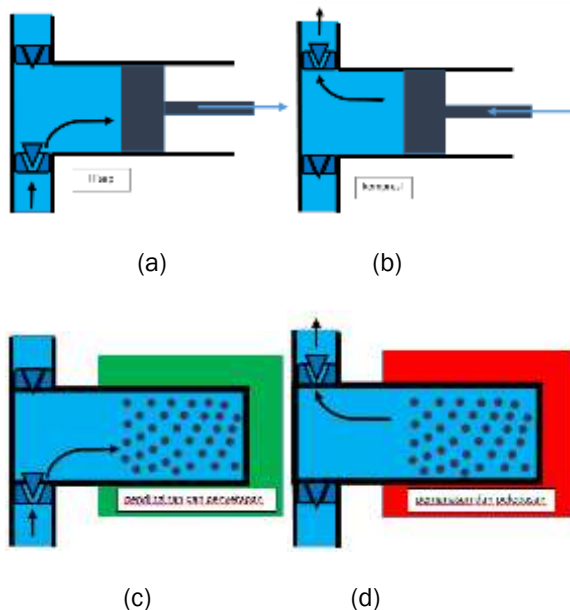


Gambar 1 skema mesin refrigerasi kompresi uap

Dari skema di atas terlihat bahwa proses 1 - 2 merupakan kompresi secara isentropis (entropi konstan) sehingga tekanan dan temperatur refrigeran meningkat. Refrigeran yang bertemperatur tinggi ini dialirkan ke kondensor

dan akibat temperaturnya lebih tinggi dari lingkungan, kalor mengalir dari refrigeran ke lingkungan. Proses pelepasan kalor ini menyebabkan refrigeran terkondensasi (proses 2 - 3). Pada proses 3 - 4, refrigeran melalui katup ekspansi sehingga tekanan dan temperaturnya turun dan selanjutnya refrigeran mengalir menuju evaporator. Karena temperatur refrigeran di evaporator lebih rendah dari lingkungan, maka terjadi kalor masuk ke dalam evaporator. Proses ini menyebabkan refrigeran menguap. Selanjutnya refrigeran masuk kembali ke kompresor dan seterusnya membentuk siklus refrigerasi.

Secara praktis mesin refrigerasi adsorpsi adalah mesin refrigerasi yang menggantikan kompresor dengan bed adsorpsi sebagai penaik tekanan. Perbedaan kompresor dengan bed adsorpsi dalam menaikkan tekanan refrigeran dapat dijelaskan dengan gambar 2.



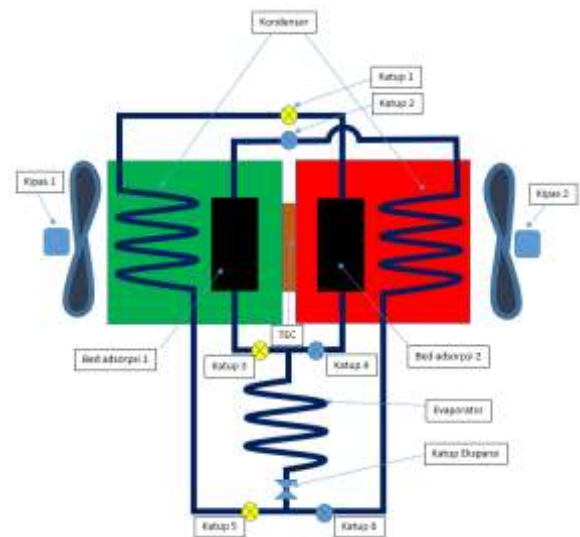
Gambar 2 perbedaan prinsip kerja kompresor dengan bed adsorpsi

Gambar 2 menunjukkan perbedaan prinsip kerja antara kompresor dengan bed adsorpsi dalam menaikkan tekanan refrigeran. Gambar 2(a) dan 2(b) adalah skema kompresor torak yang memanfaatkan fenomena hisap-kompresi untuk menaikkan tekanan. Gambar 2(c) dan 2(d) adalah skema bed adsorpsi yang memanfaatkan fenomena desorpsi-adsorpsi oleh suatu zat pengadsorpsi dalam operasinya. Berbeda dengan kompresor yang menggunakan kerja mekanik

untuk beroperasi, pada bed adsorpsi digunakan sumber panas dan dingin untuk menaikkan tekanan. Ketika bed adsorpsi didinginkan, maka refrigeran akan terserap oleh suatu padatan adsorben dan masuk dalam pori-pori permukaannya. Kemudian saat bed adsorpsi dipanaskan, maka refrigeran yang terserap oleh adsorben terlepas dan keluar dari bed adsorpsi dengan tekanan yang tinggi. Proses pemanasan dan pendinginan bed adsorpsi harus dilakukan secara bergantian dan periodik agar proses kompresi dapat berlangsung secara kontinyu. Dalam aplikasinya sumber panas ini dapat berasal dari panas buang yang belum dimanfaatkan, sedangkan pendinginan dapat dilakukan dengan udara sekitar atau dengan air pendingin.

3 Rancangan Simulator Refrigerasi Adsorpsi

Simulator mesin refrigerasi adsorpsi yang telah dirancang terdiri dari dua buah bed, dua kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Sebagai pengganti sumber panas, pada simulator ini digunakan thermo electric cooler (TEC). Skema dan miniatur simulator yang telah dirancang diberikan pada gambar 3.



Gambar 3 skema dan miniatur simulator mesin refrigerasi adsorpsi

Prinsip kerja kompresi mesin refrigerasi ini yaitu dengan pemanfaatan fenomena adsorpsi-desorpsi. Pada saat temperatur lingkungan bed dingin maka adsorben di dalam bed akan menyerap refrigeran sedangkan pada saat temperatur bed panas maka refrigeran akan terlepas dari adsorben. Proses pemanasan dan pendinginan bed dilakukan oleh modul TEC yang terpasang diantara kedua bed. Ketika arus DC diberikan ke modul TEC maka sebuah bed akan menjadi panas sedangkan bed yang lain akan menjadi dingin sehingga terjadi aliran refrigeran dari bed panas (*desorpsi*) ke bed dingin (*adsorpsi*). Apabila arah arus DC dibalik, maka pemanasan dan pendinginan yang terjadi berbeda dan temperaturnya terbalik akibatnya arah aliran refrigeran juga terbalik. Aliran refrigeran harus mengikuti siklus refrigerasi sehingga katup selenoid digunakan untuk mengatur arah aliran refrigeran. Siklus refrigerasi adsorpsi berawal dari desorber menuju kondensor, dan selanjutnya melewati katup ekspansi, dan kemudian evaporator dan akhirnya masuk ke adsorber. Setelah penyerapan absorber maksimum, kemudian adsorber dipanaskan lagi sehingga proses desorpsi berlangsung dan demikian seterusnya proses-proses tersebut membentuk siklus refrigerasi.

4 Model Matematika

Pemodelan matematika digunakan untuk membantu analisis kontrol yang dilakukan. Parameter kontrol berupa pengaturan temperatur pemanasan dan pendinginan bed serta buka tutup katup. Agar pengaturan buka tutup katup mudah dapat dilakukan, pin digital output arduino digunakan dan dihubungkan dengan rangkaian kontrol relay. Sedangkan pengaturan temperatur dilakukan dengan kontrol on/off TEC dan kecepatan kipas diatur melalui pin pwm arduino. Oleh karena itu pemodelan matematika perlu dilakukan. Hubungan-hubungan empirik dari karakteristik TEC telah dibahas pada pustaka [3].

4.1 Persamaan energi sisi dingin TEC

Panas yang dikeluarkan pompa kalor pada sisi dingin TEC ideal dihitung dengan persamaan Seeback yang ditunjukkan pada persamaan (1).

$$Q_{sb} = 2N\alpha IT_c \quad (1)$$

Karena material TEC mempunyai hambatan dalam menghasilkan kalor Joule. Kalor Joule ini diasumsikan setengahnya ke sisi dingin dan setengahnya lagi ke sisi panas. Besar nilai kalor Joule dihitung dengan persamaan (2).

$$Q_j = 2NI^2p/G \quad (2)$$

Perbedaan temperatur antara kedua sisi TEC saat beroperasi menyebabkan terjadi perpindahan panas konduksi yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$Q_{cd} = 2Nk(T_h - T_c)G \quad (3)$$

Untuk perpindahan panas total pada sisi dingin dapat diestimasi dengan persamaan (4).

$$\begin{aligned} Q_c &= Q_{sb} - 0,5Q_j - Q_{cd} \\ &= 2N(\alpha IT_c - I^2p/2G - k\Delta T) \end{aligned} \quad (4)$$

Persamaan (4) merupakan persamaan standar untuk kinerja termal dari modul TEC. Untuk penyederhanaan, SM , RM , dan KM didefinisikan pada persamaan-persamaan (5) - (7). Dengan parameter ini, karakteristik TEC dapat diinterpretasikan.

$$SM = 2\alpha N \quad (5)$$

$$RM = 2pN/G \quad (6)$$

$$KM = 2NkG \quad (7)$$

Dengan definisi-definisi parameter tersebut, persamaan (4) dapat dituliskan menjadi persamaan (8).

$$Q_c = SMTcI - 0,5I^2RM - KM\Delta T \quad (8)$$

Dari persamaan (8) dapat terlihat bahwa besar Q_c merupakan fungsi kuadratik dari I . Hal ini menunjukkan terdapat nilai I optimum untuk memperoleh Q_c terbesar. Selain itu, nilai Q_c juga bergantung pada nilai ΔT dan T_c sehingga nilai Q_c tidak dapat diatur dengan hanya mengatur nilai I . Dengan kata lain nilai T_c dan ΔT tidak dapat diatur dengan hanya mengatur nilai I .

4.2 Persamaan energi sisi panas TEC

Tegangan pada modul TEC dapat dirumuskan sebagaimana diberikan pada persamaan (9).

$$V = IRM + SM(T_h - T_c) \quad (9)$$

Besar energi yang dikonsumsi modul TEC dapat diestimasi dengan persamaan (10).

$$P = VI = I^2RM + SM I(T_h - T_c) \quad (10)$$

Dengan menggabungkan persamaan (8) dan (10) ke hukum kekekalan energi, maka diperoleh persamaan Q_h yang diberikan pada persamaan (11).

$$Q_h = Q_c + P$$

$$= SMThI + 0,5I^2RM - KM\Delta T \quad (11)$$

Persamaan (11) ini mengonfirmasikan bahwa untuk mengatur T_h dan ΔT tidak cukup dengan hanya mengatur I .

4.3 Pengaruh kecepatan udara

Untuk mengatur T_c dan T_h tidak dapat dilakukan hanya dengan mengatur I . Oleh karena itu selain harus dapat mengatur I , pengontrol juga harus dapat mengontrol Q_c dan Q_h . Oleh karena itu pada simulator yang dikembangkan, kipas motor DC digunakan untuk membantu pengaturan temperatur. Perpindahan panas yang terjadi pada sisi luar bed merupakan perpindahan panas secara konveksi. Perpindahan panas konveksi telah dirumuskan pada hukum pendinginan Newton yang ditunjukkan pada persamaan (12)

$$Q = hA\Delta T \quad (12)$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa besarnya nilai h akan mempengaruhi besarnya perpindahan panas Q ataupun ΔT yang terjadi. Nilai h tergantung pada berbagai kondisi. Salah satu kondisi yang mempengaruhi h adalah kecepatan aliran fluida sekitar. Hubungan kecepatan dan nilai h dirumuskan pada persamaan bilangan Nusselt dan Reynolds pada analogi Reynolds yang diberikan pada persamaan-persamaan (13) – (15).

$$Nu = f(x^*, Re, Pr) = hL/k \quad (13)$$

$$Re = \rho \cdot u \cdot L / \mu \quad (14)$$

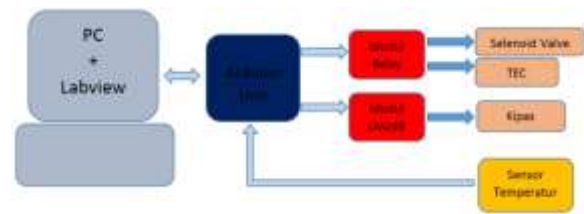
$$Gr \cdot Re / 2 = Nu \quad (15)$$

Dari analogi Reynolds tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai u maka semakin besar nilai h sehingga semakin besar juga nilai Q . Oleh karena itu, untuk membantu pengaturan Q digunakan kipas.

Dari analisis perpindahan panas di atas dapat dipastikan bahwa pengaturan kedua bed adsorpsi dapat dilakukan dengan cara pengaturan on/off TEC dan putaran kedua kipas.

5 Rancangan, Prototipe, dan Hasil Pengujian Modul Kontrol

Modul kontrol simulator mesin refrigerasi adsorpsi yang telah dikembangkan terdiri dari arduino, modul relay, katup selenoid, TEC, kipas pendingin dan sensor temperatur LM35. Gambar 4 memberikan ilustrasi tentang rancangan modul kontrol simulator refrigerasi adsorpsi.



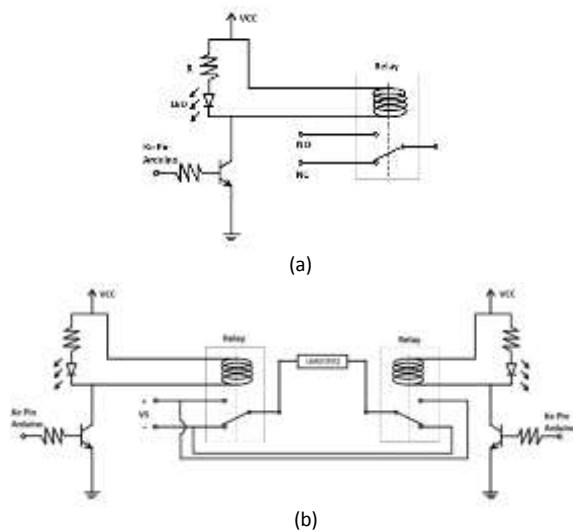
Gambar 4: sekema kontrol simulator mesin refrigerasi adsorpsi

Platform controller arduino yang digunakan pada modul kontrol ini bukan digunakan sebagai controller, melainkan hanya digunakan sebagai media penerjemah perintah dan pembaca data temperatur sensor. Pengontrolan dilakukan melalui perangkat lunak labview. Komunikasi antara labview dan arduino menggunakan komunikasi serial. Program yang dibuat pada arduino hanya membaca 3 byte perintah dan mengirimkan 4 byte data. 4 byte data yang dikirim oleh arduino mengandung informasi dua temperatur. 3 byte perintah yang diterima arduino terdiri dari perintah pengaturan katup, TEC, dan kipas. Bit 0 sampai bit 5 dari byte pertama digunakan untuk mengatur katup, sedangkan bit 6 dan bit 7 dari byte pertama digunakan untuk mengatur TEC. Dengan menggunakan rangkaian H-bridge Relay maka TEC dapat beroperasi off, positif atau negatif. Byte kedua dan ketiga digunakan sebagai perintah untuk mengatur kecepatan putar kipas. Pengaturan kecepatan putar kipas dilakukan dengan pin PWM arduino. Aliran data komunikasi antara arduino dan komponen lain dapat diilustrasikan pada gambar 5.



Gambar 5 sekema aliran perintah dan informasi

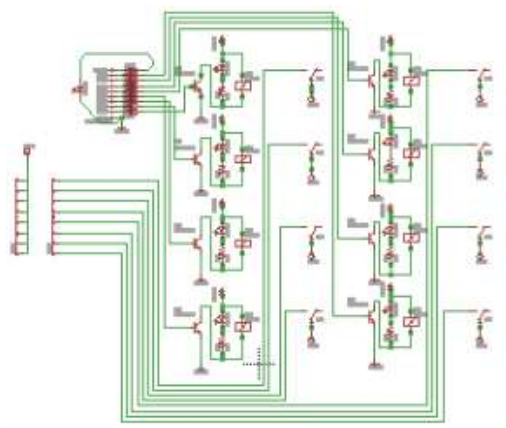
Pembuatan rangkaian listrik dari modul kontrol ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak eagle. Desain rangkaian listrik yang telah dibuat diperlihatkan pada gambar 6.



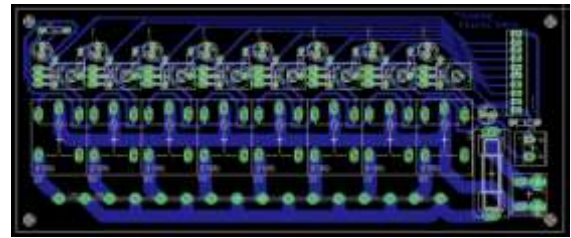
Gambar 6 Sekematik rangkaian listrik modul kontrol: (a) penggerak katup solenoid menggunakan relay dan transistor; (b) rangkaian H-Bridge relay untuk mengatur TEC

Gambar 6 (a) menunjukkan rangkaian penggerak katup solenoid menggunakan relay. Alasan penggunaan relay pada rangkaian ini agar berbagai jenis tipe katup solenoid dapat digunakan.

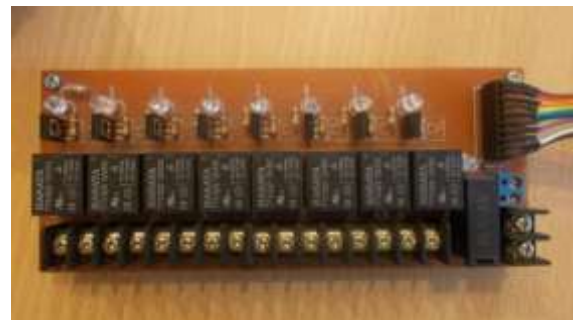
Dalam pengerjaan modul kontrol ini diawali dengan pembuatan skema rangkaian, kemudian dilanjutkan dengan perancangan film PCB. Perancangan film PCB ini menggunakan perangkat lunak eagle. Selanjutnya pembuatan PCB dan pemasangan komponen dilakukan. Urutan pengerjaan modul kontrol ini dapat diperlihatkan pada gambar 7 – 9.



Gambar 7 skema rangkaian modul kontrol

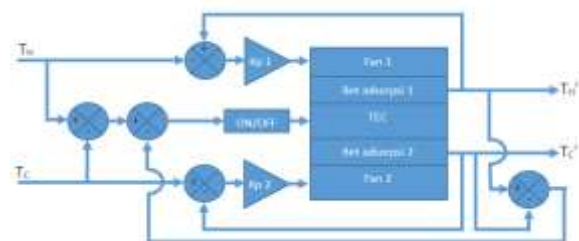


Gambar 8 tampilan film PCB modul kontrol



Gambar 9 modul kontrol yang telah dibuat

Dalam pengoperasian modul kontrol ini terdapat 3 mode yang dapat dipilih. Adapun ketiga mode tersebut adalah mode manual, timer dan auto. Pada mode manual, user secara langsung dapat mengendalikan katup, pengaturan pemanasan atau pendinginan oleh TEC dan juga pengaturan putaran kipas. Pada mode timer, user akan diminta untuk memasukkan state meliputi konfigurasi buka-tutup katup, penyalan TEC dan pengaturan kecepatan kipas serta durasi waktu untuk tiap-tiap state. Pada mode auto, temperatur kedua bed adsorpsi dapat di atur. Pengaturan temperatur bed adsorpsi merupakan close loop control dengan menggunakan kontrol on/off modul TEC dan kontrol proporsional kecepatan putaran kipas. Diagram blok dari sistem kontrol temperatur kedua bed adsorpsi ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10 diagram blok kontrol temperatur dua bet adsorpsi

Gambar 10 menunjukkan penggunaan kontrol on/off dan proporsional untuk mengatur temperatur bed adsorpsi. Dari diagram blok

tersebut maka dapat dijelaskan bahwa secara fisik TEC akan terus menyala selama selisih temperatur yang terjadi masih lebih kecil dari selisih temperatur yang diinginkan. Kontrol proporsional pada kedua kipas merupakan proporsional mutlak yang hanya akan menguatkan saat nilai inputnya positif. Oleh karena itu, secara fisik kipas 1 akan berputar saat temperatur bed adsorpsi 1 lebih dari yang diinginkan, namun tetap diam selama temperatur yang terjadi di bawah temperatur set poin. Untuk kipas 2 juga hanya akan berputar saat temperatur bed adsorpsi 2 yang terjadi di bawah temperatur yang diinginkan.

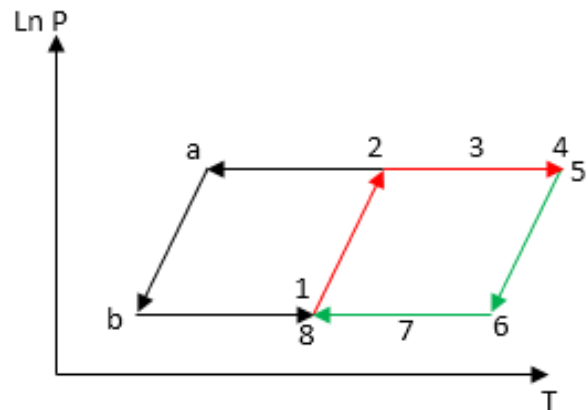
Pada mode timer pengguna hanya perlu memasukkan konfigurasi katup tiap-tiap state. Tabel 1 merepresentasikan konfigurasi state secara default.

Tabel 1 konfigurasi state pada mode timer

Variabel Kontrol	State							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Katup1	off	on	on	off	off	off	off	off
Katup2	off	off	off	off	off	on	on	off
Katup3	off	on	on	off	off	off	off	off
Katup 4	off	off	off	off	off	on	on	off
Katup 5	off	off	on	off	off	off	off	off
Katup 6	off	off	off	off	off	off	on	off
TEC	F	F	F	off	R	R	R	off
Kipas1(%)	0	50	100	100	0	0	0	100
Kipas2(%)	0	0	0	100	0	50	100	100
Durasi (menit)	20	10	10	5	20	10	10	5

Seperti diperlihatkan pada tabel 1, simbol F mengartikan bahwa TEC diberikan tegangan positif, sedangkan simbol R ketika TEC diberikan tegangan negatif. Ketika TEC menerima tegangan positif, maka pemanasan terjadi pada bed adsorpsi 1 dan pendinginan pada bed adsorpsi 2. Sebaliknya ketika TEC menerima tegangan negatif maka pendinginan terjadi pada bed adsorpsi 1 dan pemanasan pada bed adsorpsi 2. State 1 adalah proses pemanasan dan pendinginan pada volum konstan. State 2 adalah proses desorpsi pada bed 1 dan adsorpsi pada bed 2. State 3 adalah proses yang menimbulkan efek pendinginan. State 4 adalah penetralan temperatur kedua bed. State 5 sampai dengan 8 merupakan kebalikan state 1 sampai dengan 4. Proses-proses tersebut

diharapkan akan membentuk siklus refrigerasi adsorpsi ideal sebagai berikut seperti ditunjukkan pada gambar 11.

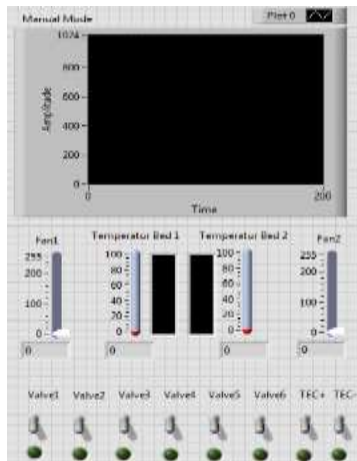


Gambar 11 diagram tekanan-temperatur refrigerasi adsorpsi ideal

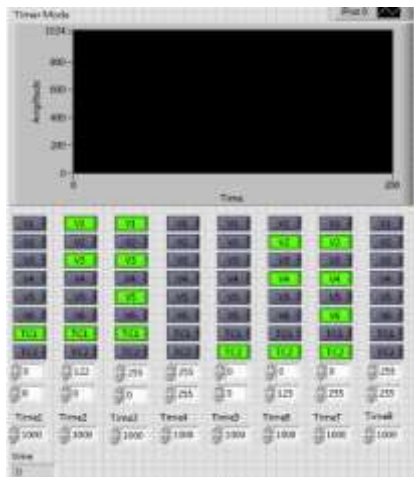
Pembuatan program control dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak labview. Tampilan-tampilan front panel rancangan kontrol yang telah dibuat diperlihatkan pada gambar 12 - 15.



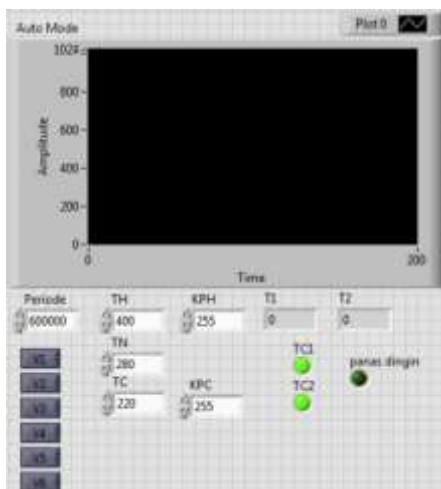
Gambar 12 tampilan seting parameter



Gambar 13 tampilan mode manual



Gambar 14 tampilan mode timer



Gambar 15 tampilan mode auto

6 Kesimpulan

1. Modul kontrol simulator refrigerasi adsorpsi telah dibuat dengan menggunakan platform controller arduino yang terintegrasi dengan perangkat lunak labview.
2. Modul kontrol simulator refrigerasi adsorpsi mampu mensimulasikan pengaturan temperatur panas dan dingin bed adsorpsi secara bergantian serta mampu mengatur arah aliran refrigeran melalui buka-tutup katup selenoid secara manual, timer, maupun otomatis.
3. Pengaturan temperatur yang digunakan merupakan pengaturan on/off TEC dan pengaturan proporsional kipas pendingin serta mampu mengatur temperatur kedua bed adsorpsi dalam rentang 27-60°C untuk sisi panas dan 16-27°C untuk sisi dingin.
4. Penggunaan TEC sebagai sumber panas dapat membuat simulator mesin refrigerasi adsorpsi lebih efektif karena TEC dapat memanaskan dan mendinginkan bed adsorpsi secara bersamaan.

7 Nomenklatur

α	=	Koefisien Seebeck	(V/K)
ρ	=	Masa jenis fluida	(kg/m ³)
μ	=	Viskositas dinamik	(kg/ms)
A	=	Luas permukaan	(m ²)
C_f	=	Faktor bentuk	
G	=	Faktor geometri	(m)
h	=	TEC	(W/m ² ·K)
I	=	Koefisien konveksi	(Amp)
k	=	Arus listrik	(W/m·K)
L	=	konduktifitas termal	(m)
N	=	Panjang batang	
p	=	Jumlah pasang TEC	(Ω)
Pr	=	Hambatan dalam	
Q_c	=	TEC	(Joule)
Q_{cd}	=	konstanta Prantle	(Joule)
Q_j	=	Kalor pada sisi dingin	(Joule)
		Kolor akibat	

		konduksi	
		Kalor joule	
Q_{sb}	=	Kalor efek seebeck	(Joule)
Re	=	Bilangan Reynold	
T_c	=	Temperatur sisi dingin	($^{\circ}C$)
T_h	=	Temperatur sisi panas	($^{\circ}C$)
ΔT	=	Selisih temperatur	(m/s)
u	=	Kecepatan aliran udara konveksi	

8 Daftar Pustaka

[1] Dwi M. Purnomo Jati. "Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Sistem Refrigerasi

Adsorpsi Kontinyu Bertekanan Kerja Positif", Skripsi, Teknik Mesin ITB, 2014.
 [2] T.H. Chua, A. Chakraborty, X.L. Wang, "An Adsorption Chiller Driven by Thermoelectricity", Proceeding of International Refrigeration and Air Conditioning Conference, p. 677, 2004.
 [3] Terry M. Tritt, dan Subramanian, "Thermoelectric Materials, Phenomena, and Applications", MRS Bulletin Volume 31, 2006.
 [4] D. Artanto, " Interaksi Arduino dan Labview", Elex Media Koputindo, Jakarta, 2012.
 [5] C. Alexander dan M. Sadiku, " Fundamental of Electric Circuits", McGraw-Hill, Ed 4, New York, 2009.
 [6] C.S. Rangan, G.R. Sarma, dan V. Mani, "Instrumentation Device and Systems", Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1992.
 [7] Frank P. Incropera, "Introduction to Heat Transfer", John Welly & Sons, Ed 5, 2007.

Implementasi Metode Korelasi Silang untuk Deteksi Friksi Statis Katup di Kalang Kontrol

Mas Aji Rizki Widjayanto*), Awang N.I. Wardana & Widya Rosita

Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

mas.aji.r.w@mail.ugm.ac.id)*

Abstrak

Sistem kontrol dalam suatu industri proses merupakan hal yang vital untuk operasional suatu pabrik. Performa buruk dari suatu sistem kontrol akan memberikan dampak negatif bagi operasional suatu pabrik, seperti operasi dari sistem kontrol yang tidak efisien dan efektif. Salah satu dari penyebab buruknya kinerja tersebut adalah friksi statis pada katup. Beberapa metode untuk mendeteksi friksi statis pernah diperkenalkan antara lain pengolahan sinyal berdasarkan pencocokan grafis dan bentuk sinyal. Dalam makalah ini dilakukan implementasi dari metode deteksi friksi statis pada katup berdasarkan metode korelasi silang yang dirumuskan oleh Horch. Teknik ini dilakukan dengan mengkorelasikan antara variabel proses dan keluaran pengendali dari suatu kalang kontrol. Dalam makalah ini disajikan hasil implementasi algoritma dengan dua jenis masukan, yaitu data simulasi dan implementasi dari industri amonia. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode korelasi silang dapat mendeteksi friksi statis dengan tepat pada data simulasi dan data industri amonia. Kebenaran dalam mendeteksi friksi statis pada katup ditunjukkan dari validasi terhadap data-data yang sudah diketahui kondisinya. Selain itu, metode dipilih karena kemudahan dalam implementasi sebagai kelebihan dari metode korelasi silang.

Kata Kunci: Sistem kontrol, friksi statis katup, implementasi, korelasi silang.

1 Pendahuluan

Sistem kontrol dalam proses industri merupakan hal yang sangat vital untuk menjalankan operasi dari suatu pabrik. Jika kondisi sistem tidak berjalan sesuai dengan harapan akan memberikan hasil yang tidak optimal, seperti menurunnya kuantitas ataupun kualitas hasil industri [1]. Kondisi yang tidak optimal ini salah satunya disebabkan oleh ketidaklinieran. Beberapa penyebab ketidaklinieran antara lain friksi statis katup, wilayah mati, histeresis dan saturasi [2]. Namun, salah satu penyebab seringnya ketidaklinieran adalah friksi statis katup [3]. Friksi statis yang terjadi pada katup dapat menyebabkan perbedaan antara nilai masukan dan keluaran karena katup tidak dapat bergerak sesuai dengan keinginan yang diakibatkan gesekan statis yang besar melebihi gesekan dinamis sehingga

dibutuhkan masukan yang lebih kuat hingga katup dapat bergerak.

Metode untuk mendeteksi buruknya performa pada kalang kontrol sudah banyak dilakukan. Pada awalnya beberapa permasalahan mengenai buruknya performa kalang kontrol diindikasikan oleh osilasi [1]. Beberapa metode untuk deteksi osilasi pernah dilakukan dengan metode regularitas dari titik temu nol oleh N.F. Thornhill (2003), metode dekomposisi modus empiris yang dilakukan oleh Srinivasan dan Rengaswamy (2007). Metode berikutnya adalah integral absolut kesalahan pengendali yang diperkenalkan oleh Forsman dan Stattin (1999).

Kemudian penelitian mengenai buruknya performa berupa friksi statis pada katup diawali oleh Choudhury pada tahun 2005. Choudhury menjelaskan definisi-definisi friksi statis yang berhubungan dengan penyebab osilasi pada katup. Penelitian mengenai friksi statis pada katup pernah dilakukan menggunakan beberapa metode seperti metode pencocokan kurva yang dilakukan oleh Q. Peter He dan S. Joe Qin [5], kemudian juga terdapat penelitian yang didasarkan pencocokan relay yang dilakukan oleh Claudio Scali dan Muricio Rossi. Selain itu deteksi friksi statis katup pada katup juga pernah dilakukan dengan menggunakan metode pencocokan elips oleh Choudhury.

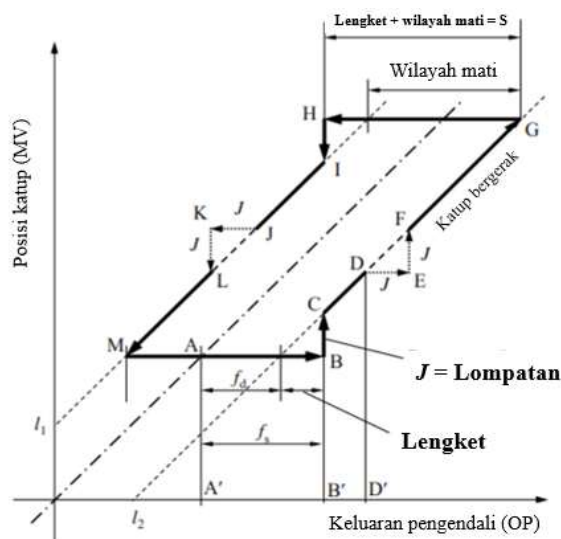
Metode berikutnya adalah metode korelasi silang yang diperkenalkan oleh Horch. Metode ini dilakukan dengan mengkorelasi silang antara data variabel proses (PV) dan keluaran pengendali (OP).

Sesuai dengan paparan, untuk mendeteksi performa sistem kontrol, di dalam makalah ini akan dijelaskan metode korelasi silang untuk pendeteksian friksi statis katup oleh Horch [2]. Selain itu makalah akan disajikan sebagai berikut: Bab 2 memberikan penjelasan mengenai metodologi penelitian yang digunakan. Metodologi penelitian ini terdiri dari penjelasan friksi statis pada katup. Bab 3 menunjukkan metode algoritma yang digunakan dalam pendeteksian friksi statis pada katup. Bab 4 memberikan hasil dari deteksi friksi statis katup menggunakan masukan data

simulasi dan data industri. Sementara itu, pada bab 5 terdapat kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan.

2 Friksi Statis Katup

Friksi statis pada katup ditandai dengan terjadinya gesekan statis yang lebih besar dari gesekan dinamisnya. Kondisi ini mengakibatkan bukaan katup tidak bisa mengikuti masukannya dengan tepat. Dengan demikian, untuk dapat menggerakkan katup dibutuhkan masukan yang lebih besar. Namun hal ini akan mengakibatkan lompatan pada katup sehingga gerakan yang ditimbulkan akan berlebihan. Friksi statis dapat direpresentasikan oleh dua parameter, yaitu S (wilayah mati ditambah lengket) dan J (lompatan). Friksi statis katup dan kedua parameter ini dapat dilihat pada Gambar. 1.



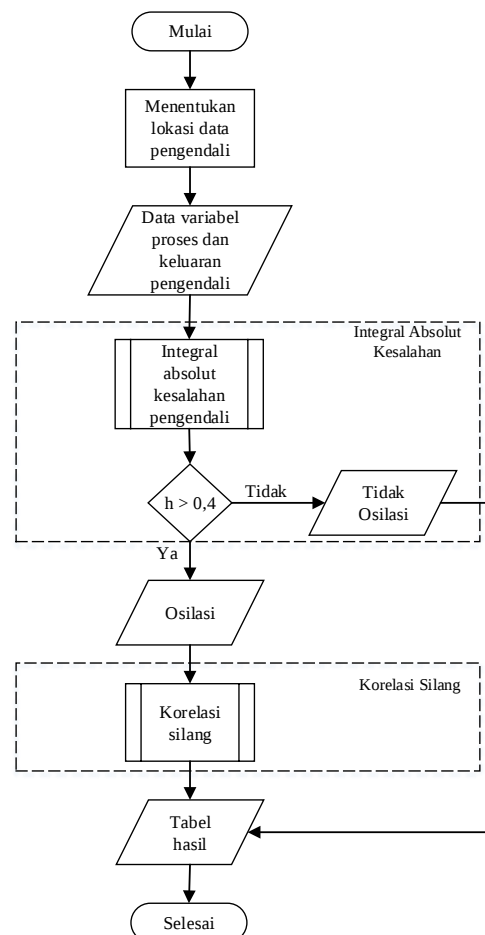
Gambar 1 Grafik hubungan input-output katup kontrol karena friksi statis katup [3]

Pada Gambar 1, titik A merupakan titik di mana katup akan mulai bergerak. Katup akan bergerak jika masukan katup memiliki nilai melebihi nilai gesekan statis (f_s). Kemudian setelah katup diberikan masukan yang melebihi nilai f_s , maka katup akan bergerak ke posisi B dan meloncat ke posisi C. Selanjutnya katup akan bergerak perlahan menuju posisi D yang diakibatkan oleh gesekan kinetik saja. Karena pergerakan yang sangat lambat, kemungkinan katup akan mengalami lengket sampai titik F dan katup akan bergerak kembali sampai titik G. Pada saat mencapai titik G, katup diberi masukan OP dengan arah yang berlawanan arah. Pada kondisi ini

masukan OP harus melebihi nilai wilayah *mati*. Untuk mencapai titik I, maka harus diberi masukan OP sampai titik H hingga katup bergerak dan mengalami lompatan ke posisi I.

3 Program Deteksi Friksi Statis Katup

Untuk mendeteksi keberadaan friksi statis pada katup kontrol, langkah awal data harus terdeteksi osilasi. Dalam penelitian yang diacu oleh makalah ini, deteksi osilasi ini menggunakan integral absolut kesalahan pengendali yang dirumuskan oleh Forsman dan Stattin [6]. Kemudian untuk deteksi friksi statis digunakan metode korelasi silang yang dirumuskan oleh Horch [2]. Gambar 2 menunjukkan bagaimana diagram alir dari deteksi friksi statis pada katup yang terdiri dari 2 bagian yaitu integral absolut kesalahan dan deteksi friksi statis pada katup.



Gambar 2 Diagram alir program deteksi friksi statis pada katup [5]

3.1 Integral Absolut Kesalahan Pengendali

Sebelum mendeteksi keberadaan friksi statis katup, terlebih dahulu data harus terdeteksi osilasi.

Parameter $h(N)$ merupakan indeks osilasi yang digunakan untuk menentukan suatu kalang kontrol mengalami osilasi. Jika $h(N)$ lebih dari dari batas yang ditentukan, maka data terdeteksi osilasi. Dalam penelitian yang diacu oleh makalah ini, digunakan batas 0,4 untuk $h(N)$ [1]. Nilai $h(N)$ bergantung terhadap dua elemen, yaitu waktu antar titik temu nol dan integral absolut kesalahan pengendali dari kesalahan pengendali (e) yang telah tapis oleh sebuah penapis frekuensi rendah. Kesalahan pengendali merupakan kesalahan pengendali yang didapatkan dari selisih antara data variabel proses (PV) dan rata-rata PV itu sendiri. variabel waktu antar titik temu nol (ε_n dan δ_n) didapatkan dari perhitungan waktu antar titik temu nol pada interval positif dan negatif dari e . Sedangkan, integral absolut kesalahan (A_n dan B_n) didapatkan dengan menghitung integral absolut sinyal kesalahan pengendali pada interval positif dan negatif dengan rentang antar titik temu nol.

Untuk mendapatkan indikasi osilasi, parameter waktu antar titik temu nol dan integral absolut kesalahan harus dihitung cacah elemen yang masuk dalam kriteria osilasi atau tidak dengan persamaan 1 untuk interval positif dan persamaan 2 untuk interval negatif [1].

$$h_A(N) = \# \left\{ i < \frac{N}{2}; \alpha < \frac{A_{i+1}}{A_i} < \frac{1}{\alpha} \wedge \gamma < \frac{\delta_{i+1}}{\delta_i} < \frac{1}{\gamma} \right\} \quad (1)$$

$$h_B(N) = \# \left\{ i < \frac{N}{2}; \alpha < \frac{B_{i+1}}{B_i} < \frac{1}{\alpha} \wedge \gamma < \frac{\varepsilon_{i+1}}{\varepsilon_i} < \frac{1}{\gamma} \right\} \quad (2)$$

dengan nilai $\alpha = 0,5$ dan $\gamma = 0,7$ yang merupakan tingkat kesensitifan kriteria indikasi osilasi, sehingga bisa didapatkan indeks osilasi $h(N)$ pada persamaan 3 [1].

$$h(N) = (h_A(N) + h_B(N))/N \quad (3)$$

dengan $h_A(N)$ dan $h_B(N)$ yang merupakan cacah elemen waktu antar titik temu nol dan integral absolut kesalahan yang masuk dalam kriteria pada persamaan 1 dan 2. Sedangkan, N merupakan jumlah elemen integral absolut kesalahan yang terdapat pada sinyal kesalahan pengendali.

3.2 Korelasi Silang

Dalam deteksi friksi statis pada katup ini, digunakan metode korelasi silang yang dirumuskan oleh Horch [3]. Pada metode ini digunakan teknik korelasi silang. Teknik korelasi silang merupakan teknik korelasi antar nilai keluaran $y(t)$, dan nilai masukan $x(t)$. Secara umum, fungsi korelasi silang didefinisikan seperti pada persamaan 4 [1].

$$r_{xy}(\tau) = E\{x(t + \tau) \cdot y(t)\} \quad (4)$$

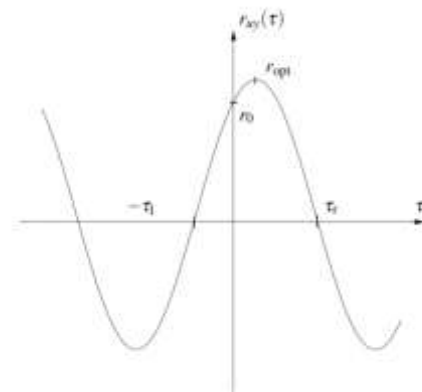
Metode korelasi silang untuk pendeteksian friksi statis katup dengan menghitung korelasi silang antara PV sebagai $y(t)$ dan OP sebagai $x(t)$. Indikasi friksi statis katup dengan metode korelasi silang bisa didapatkan dengan bentuk asimetris pada titik temu nol pertama sebelum dan sesudah titik tengah hasil korelasi silang [2]. Sedangkan, untuk indikasi tidak friksi statis katup didapatkan dengan bentuk simetris pada titik temu nol pertama sebelum dan sesudah titik tengah hasil korelasi silang [2]. Selain mengindikasikan friksi statis katup dengan cara tersebut, cara lain untuk mengindikasikan friksi statis katup pada metode ini bisa dilakukan dengan perhitungan dua variabel, yaitu parameter $\Delta\tau$ dan $\Delta\rho$. Kedua variabel tersebut merupakan representasi dari rasio pada sinyal hasil korelasi silang pada rentang titik temu nol pertama sesudah dan sebelum titik tengah hasil korelasi silang. Nilai $\Delta\tau$ dan $\Delta\rho$ dapat dihitung dengan persamaan 5 dan 6 [2].

$$\Delta\tau = \frac{|\tau_1 - \tau_r|}{\tau_1 + \tau_r} \quad (5)$$

Dengan τ_r adalah titik temu nol sesudah titik tengah hasil korelasi silang dan τ_1 adalah titik temu nol sebelum titik tengah hasil korelasi silang.

$$\Delta\rho = \frac{|r_0 - r_{opt}|}{r_0 + r_{opt}} \quad (6)$$

Dengan r_0 adalah amplitudo pada titik tengah hasil korelasi silang dan r_{opt} adalah titik puncak sinyal hasil korelasi silang pada rentang titik temu nol pertama sebelum dan sesudah titik tengah korelasi silang. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi rumus untuk menghitung variabel $\Delta\tau$ dan $\Delta\rho$.



Gambar 3 Ilustrasi rumus untuk perhitungan $\Delta\tau$ dan $\Delta\rho$

Setelah perhitungan yang dilakukan dengan persamaan 5 dan 6, maka bisa didapatkan hasil indikasi friksi statis katup dengan dimasukkan pada kriteria pada tabel 1.

Tabel 1 Indikasi friksi statis katup metode korelasi silang

$0 < \Delta\rho < 0,072$	Tidak friksi statis	$0 < \Delta\tau < 0,33$
$0,072 < \Delta\rho < 0,33$	Tidak ada keputusan	$0,33 < \Delta\tau < 0,67$
$0,33 < \Delta\rho < 1$	Friksi statis	$0,67 < \Delta\tau < 1$

Setelah nilai kedua variabel tersebut dimasukkan ke dalam kriteria maka bisa didapatkan hasil indikasi friksi statis katup jika nilai $\Delta\tau$ melebihi 0,34 dan nilai $\Delta\rho$ jika melebihi 0,67. Hasil kriteria yang termasuk dalam keadaan tidak ada pilihan menyatakan bahwa kondisi katup tidak berada pada kondisi friksi statis katup dan tidak friksi statis katup. Namun, hasil ini menyatakan kondisi ini disebabkan oleh kesalahan sensor atau pun elemen lain.

4 Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui ketepatan hasil deteksi metode integral absolut kesalahan dan korelasi silang, metode ini akan digunakan untuk menganalisa data simulasi yang sudah diketahui hasilnya dan juga data berupa data industri. Data simulasi untuk deteksi osilasi terdiri dari dua yaitu osilasi dan tidak osilasi. Sedangkan data simulasi friksi statis katup terdiri dari dua bagian, yaitu data friksi statis katup dan tidak friksi statis katup.

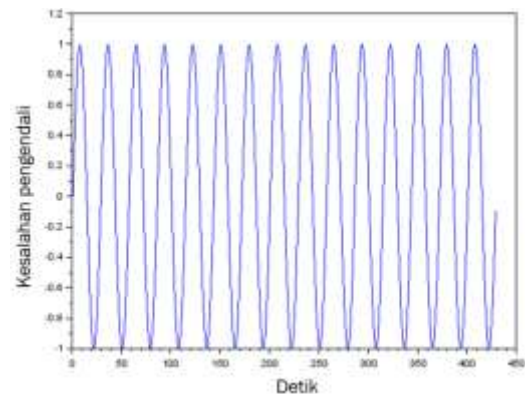
Data untuk simulasi osilasi yang digunakan adalah data sinusoidal dan data sinusoidal yang tersamar dalam derau putih. Sedangkan, data tidak osilasi yang digunakan adalah data derau putih. Hasil dari simulasi dengan data osilasi dan tidak osilasi terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil deteksi osilasi dengan metode integral absolut kesalahan pengendali

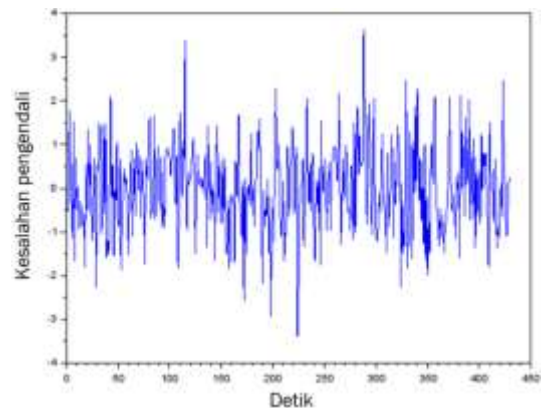
Masukan	Indeks Osilasi $h(N)$	Kesimpulan
Sinusoidal	0,897	Osilasi
Derau putih	0,304	Tidak Osilasi
Sinusoidal dalam derau putih	0,652	Osilasi

Hasil deteksi osilasi dengan ketiga data tersebut ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Ketiga gambar ini menunjukkan

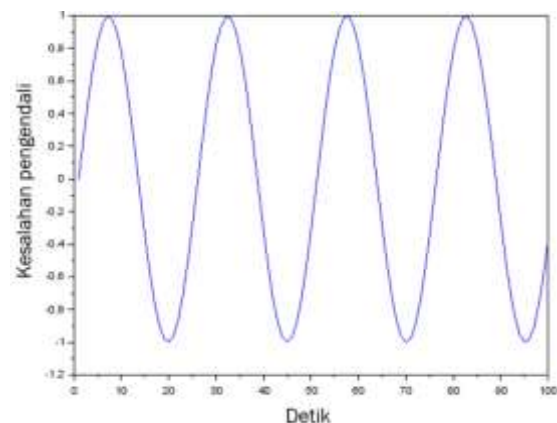
Kesalahan pengendali dari data sinusoidal yang digunakan untuk analisis osilasi.



Gambar 4 Hasil metode integral absolut kesalahan pengendali dengan masukan sinusoidal



Gambar 5 Hasil metode integral absolut kesalahan pengendali dengan masukan derau putih



Gambar 6 Hasil metode integral absolut kesalahan pengendali dengan masukan sinusoidal dalam derau putih

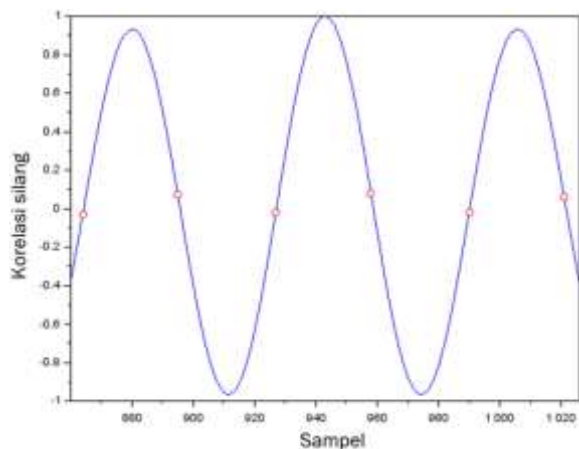
Selanjutnya untuk simulasi kondisi friksi statis katup dengan data yang tidak mengalami friksi

statis adalah dengan data sinusoidal dan saturasi. Data sinuoidal diketahui tidak friksi statis karena data ini merupakan penyebab buruknya performa kalang kontrol. Sedangkan data saturasi diketahui tidak friksi statis katup karena saturasi merupakan penyebab buruknya performa pada katup selain friksi statis katup. Hasil simulasi dengan data tidak friksi statis katup dari metode korelasi silang terdapat pada Tabel 3.

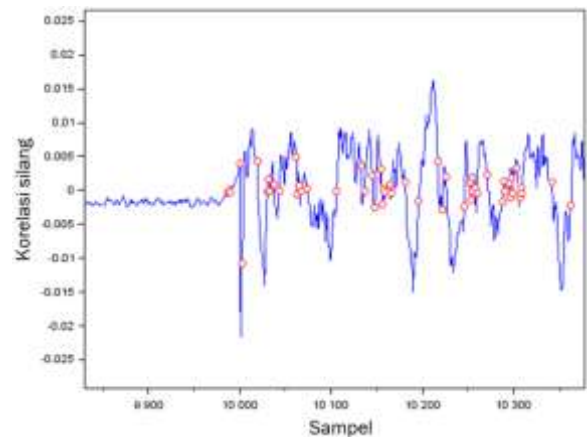
Tabel 3 Hasil deteksi friksi statis katup dengan jenis data tidak friksi statis katup

Masukan	Korelasi Silang		
	$\Delta\rho$	$\Delta\tau$	Friksi statis katup
Sinusoidal	0,0322	0	Tidak
Saturasi	0,333	0	Tidak

Pada Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan hasil metode korelasi silang untuk deteksi data tidak friksi statis katup berupa data sinusoidal dan data saturasi.



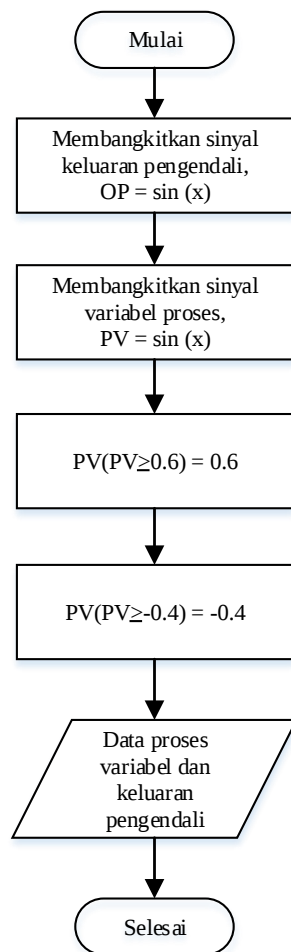
Gambar 7 Hasil metode korelasi silang dengan masukan sinusoidal



Gambar 8 Hasil metode korelasi silang dengan masukan saturasi

Selanjutnya, data yang digunakan adalah data yang mengalami friksi statis katup. Data friksi statis yang akan dipakai adalah data pemotongan PV dan data simulasi friksi statis katup yang dirumuskan oleh Choudhury. Data pemotongan PV dibuat dengan membuat kurva sinusoidal untuk OP dan PV dengan perbedaan fase. Berikut merupakan algoritma dari data pemotongan PV

Data selanjutnya yang digunakan adalah data friksi statis katup. Data friksi statis katup yang akan dipakai adalah data pemotongan PV dan data simulasi friksi statis katup yang dirumuskan oleh Choudhury. Data pemotongan PV dibuat dengan membuat kurva sinusoidal untuk OP dan PV dengan perbedaan fase, dan memotong beberapa bagian amplitudo puncak dari sinyal PV. Perbedaan fase dalam data ini dimaksudkan sebagai waktu tunda perubahan PV akibat OP. Selanjutnya data PV dipotong pada suatu titik tertentu untuk nilai positif dan negatif., sehingga jika nilai PV melewati batas tertentu, maka nilainya akan tetap hingga melewati titik yang ditentukan. Berikut merupakan diagram alir algoritma dari data pemotongan PV.



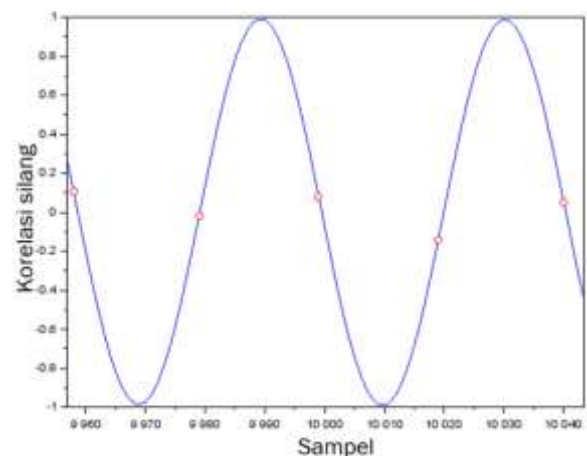
Gambar 9 Diagram alir algoritma data cut PV

Data simulasi friksi statis katup selanjutnya yang dirumuskan oleh Choudhury [8], memberikan data berupa empat jenis friksi statis katup, yaitu wilayah mati, lonjakan rendah, tidak ada simpangan, dan lonjakan tinggi. Tabel 4 menunjukkan hasil dari metode korelasi silang untuk deteksi friksi statis katup dari kelima masukan data friksi statis katup di atas.

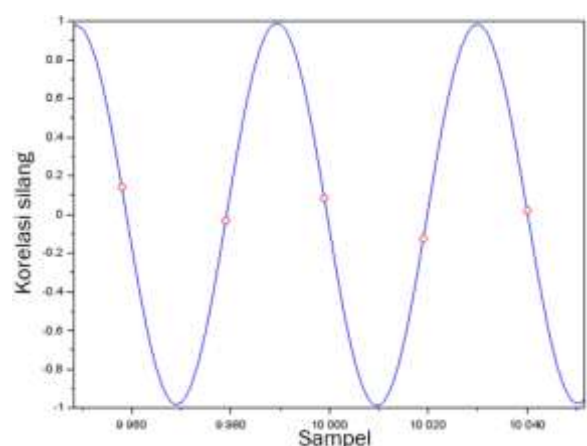
Tabel 4. Hasil deteksi friksi statis katup dengan jenis data friksi statis katup

Masukan	Korelasi Silang		
	$\Delta\rho$	$\Delta\tau$	Friksi statis katup
Pemotongan PV	0.938	0.999	Ya
Wilayah mati	0.8	0.628	Ya
Lonjakan rendah	0.8	0.626	Ya
Tidak ada simpangan	0.778	0.582	Ya
Lonjakan tinggi	0.75	0.53	Ya

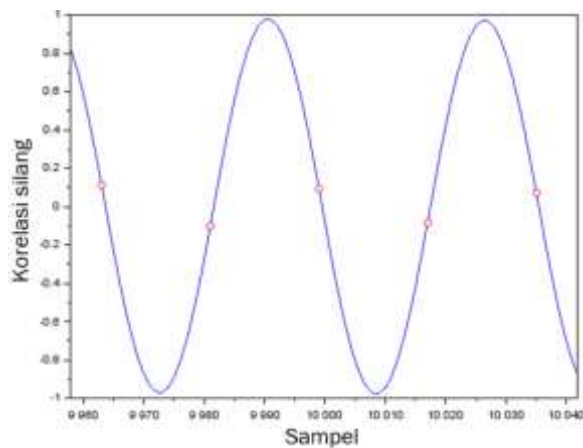
Dari tabel tersebut, hasil simulasi menunjukkan hasil yang tepat dalam pendeteksian friksi statis katup untuk semua masukan data friksi statis katup. Semua hasil simulasi dengan data friksi statis katup dan tidak friksi statis katup menunjukkan hasil yang tepat sesuai dengan kondisi masukan data itu sendiri. Hal ini menunjukkan bahwa metode korelasi silang tepat untuk mendeteksi friksi statis katup. Gambar 10 hingga Gambar 14 menunjukkan bagaimana hasil korelasi silang menunjukkan data yang diindikasikan friksi statis katup dengan masukan empat jenis data simulasi friksi statis katup. Hal ini bisa diketahui dengan melihat titik temu nol pertama sebelum dan sesudah titik tengah hasil korelasi silang.



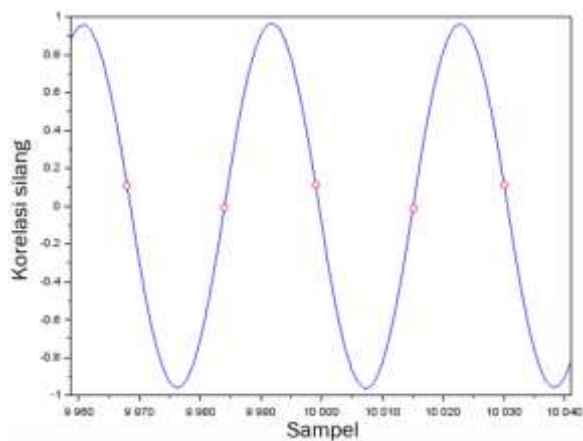
Gambar 10 Hasil metode korelasi silang dengan masukan wilayah mati



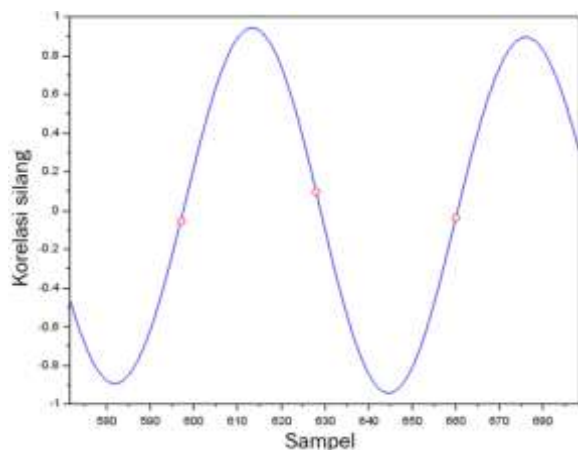
Gambar 11 Hasil metode korelasi silang dengan masukan lonjakan rendah



Gambar 12 Hasil metode korelasi silang dengan masukan tidak ada simpangan



Gambar 13 Hasil metode korelasi silang dengan masukan lonjakan tinggi



Gambar 14 Hasil metode korelasi silang dengan masukan pemotongan PV

Sebelum masuk pada tahapan deteksi friksi statis pada katup, data dari industri amonia terlebih dahulu diseleksi dengan indikasi osilasi. Untuk mengindikasikan osilasi dilakukan deteksi osilasi dengan menggunakan algoritma integral absolut kesalahan pengendali. Seperti pada paparan sebelumnya untuk mengindikasikan osilasi digunakan data PV sebagai masukan untuk deteksi osilasi sehingga didapatkan sinyal kesalahan pengendali. Setelah sinyal kesalahan pengendali diolah dengan menggunakan algoritma ini maka didapatkan nilai indeks osilasi untuk indikasi osilasi.

Jika data tersebut memiliki nilai indeks osilasi lebih dari 0.4, maka data tersebut diindikasikan osilasi. Selanjutnya data yang diindikasikan osilasi akan dilanjutkan dengan deteksi friksi statis katup. Deteksi friksi statis katup dilakukan karena friksi statis katup merupakan salah satu parameter yang mengakibatkan kalang kontrol osilasi. Deteksi friksi statis dilakukan dengan menggunakan metode korelasi silang di mana teknik ini dilakukan dengan mengkorelasikan antara data PV dan data OP. Setelah dilakukan teknik korelasi silang didapatkan beberapa variabel yang digunakan sebagai indikasi friksi statis pada katup, antara lain $\Delta\tau$ dan $\Delta\rho$. Sementara itu, pada kasus nilai indeks osilasi tidak lebih dari 0.4, maka deteksi friksi statis tidak akan dilakukan. Tabel 5 menunjukkan hasil implementasi metode korelasi silang untuk deteksi friksi statis katup pada data industri amonia.

Selanjutnya adalah implementasi pada data industri. Data industri yang dipakai adalah data dari salah satu pabrik amonia

Tabel 5 Hasil deteksi friksi statis katup dengan data industri

Katup	$h(N)$	Osilasi	$\Delta\tau$	Δp	KS	K
FV1	0.466	Y	1	0.534	Y	S
FV2	0.157	N				NO
FV3	0.285	N				NO
FV4	0.287	N				NO
FV5	0.167	N				NO
FV6	0.433	Y	0.777	0.523	Y	S
FV7	0.25	N				NO
FV8	0.1	N				NO
FV9	0.286	N				NO
LV1	0.22	N				NO
LV2	0.22	N				NO
LV3	0.396	N				NO
LV4	0.72	Y	0.939	0.774	Y	S
LV5	0.479	Y	0.956	0.375	Y	S
LV6	0.43	Y	0.692	0.419	Y	S
LV7	0.306	N				NO
LV8	0.284	N				NO
LV9	0.55	N	0.428	0.222	ND	ND
LV10	0.286	N				NO
LV11	0.297	N				NO
PV1	0.367	N				NO
PV2	0.196	N				NO
PV3	0.232	N				NO
PV4	0.479	Y	0.956	0.375	Y	S
PV5	0.367	N				NO
PV6	0.296	N				NO
PV7	0.465	Y	0.846	0.436	Y	S
PV8	0.656	Y	0.846	0.655	Y	S
PV9	0.154	N				NO
PV10	0.583	Y	0.753	0.366	Y	S
PV11	0.295	N				NO
PV12	0.25	N				NO

Keterangan:

$h(N)$ = Indeks Osilasi

$\Delta\tau$ = Variabel pertama indeks friksi statis katup

Δp = Variabel kedua indeks friksi statis katup

KS = Korelasi silang

K = Kesimpulan Akhir

S = Hasil yang menunjukkan friksi statis katup

NO = Hasil yang menunjukkan tidak osilasi

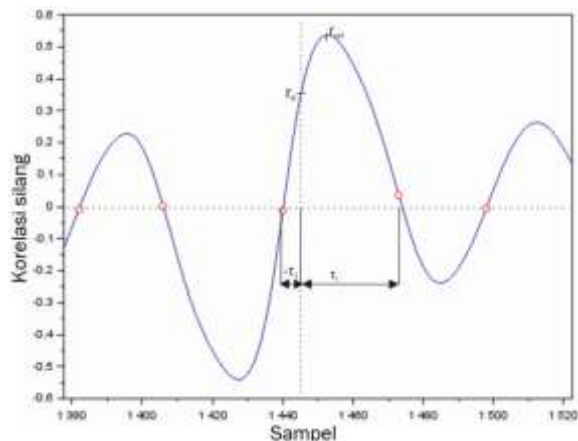
ND = Hasil yang menunjukkan tidak ada keputusan

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa hasil deteksi friksi statis katup dengan menggunakan metode korelasi silang menghasilkan 10 katup yang diindikasikan osilasi. Di antara 10 katup tersebut, 9 katup diindikasikan friksi statis katup, dan katup lainnya diindikasikan dalam kondisi tidak ada keputusan. Menurut Horch, kondisi katup yang berada pada kondisi tidak ada keputusan dapat diakibatkan oleh kesalahan sensor, atau elemen lain yang berkaitan dengan katup [5]. Tabel 5 menunjukkan kesimpulan hasil dari implementasi data industri.

Tabel 5 Kesimpulan hasil deteksi friksi statis katup dengan data industri

Kesimpulan Kondisi Katup	Jumlah
Osilasi	10
Friksi statis katup	9
Tidak ada keputusan	1

Selain memberikan hasil yang tepat pada hasil simulasi, kelebihan lain yang dimiliki metode korelasi silang adalah kemudahan dalam implementasiannya. Di mana untuk dapat mengetahui suatu kondisi katup mengalami friksi statis katup atau tidak friksi statis katup, bisa didapatkan dari keempat variabel dari hasil korelasi silang, yaitu τ_1 , τ_r , r_{opt} , dan r_0 . Gambar 15 menunjukkan bagaimana mendapatkan keempat variabel yang digunakan untuk indikasi friksi statis pada katup LV4.



Gambar 15 Hasil metode korelasi silang pada katup LV4

5 Kesimpulan

Dari hasil implementasi yang dilakukan pada deteksi friksi statis katup dengan menggunakan metode korelasi silang, didapatkan karakteristik dari metode tersebut. Implementasi metode korelasi silang untuk deteksi friksi statis katup dilakukan dengan beberapa data simulasi dan data industri amonia.

Dari hasil simulasi, menunjukkan bahwa metode korelasi dapat memberikan hasil yang tepat dalam pendeteksian friksi statis pada katup. Hasil ditunjukkan pada data simulasi yang diindikasikan friksi statis terbaca dengan benar dalam keadaan friksi statis dengan metode korelasi silang. Begitu juga dengan data simulasi yang tidak mengalami friksi statis. Hasilnya juga menunjukkan indikasi tidak friksi statis. Dengan demikian, pada data simulasi disimpulkan bahwa metode korelasi

silang dapat memberikan hasil yang tepat 100% dalam pendeteksian friksi statis pada katup.

Sementara itu, dari hasil implementasi pada data industri didapatkan hasil implementasi deteksi friksi statis pada katup mengindikasikan 31,25% dari 33 kalang kontrol pada industri amonia mengalami osilasi dengan rincian 28,125% terindikasi friksi statis pada katup, sedangkan sisanya 3,12% osilasi terjadi bukan karena friksi statis pada katup.

6 Daftar Pustaka

- [1] Forsman, K., & Stattin, A (1999). A new criterion for detecting oscillations in control loops. European Control conference, Karlsruhe, Germany, CP8-3.
- [2] Horch, A. (1999). A simple method for detection of stiction in control valves. Control Engineering Practice, 7(10), 1221-1231.
- [3] Horch, A. (2000). Condition Monitoring Loops. PhD thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- [4] Jelali, M., & Huang, B. (Eds.), Detection and diagnosis of stiction in control loops: state of the art and advanced methods. London: Springer Science & Business Media, 2009.
- [5] Widjayanto, M.A.R. "Penerapan Metode Korelasi Silang Untuk Deteksi Stiction pada Katup Kontrol," Skripsi, Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [6] Shoukat-Choudhury, S. M. A. A., Shah, S. L., & Thornhill, N. F, Diagnosis of Process Nonlinearities and Valve Stiction, London: Springer Science & Business Media, 2008

Kontrol Navigasi Robot Beroda pada Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) Menggunakan Fuzzy Logic

¹Sunu Jatmika, ²Jamil Wahyu

¹Sekolah Tinggi Manajemen Informatika & Komputer ASIA Malang

²Sekolah Tinggi Manajemen Informatika & Komputer ASIA Malang

¹sunu.srg@gmail.com, ²jamilwahyu87@yahoo.com

Abstrak

Sistem Pakar atau *expert system* adalah cabang dari AI (*artificial intelligence*) yang mulai diperkenalkan pada tahun 70-an. Dalam kaitannya dengan sistem kontrol, sistem pakar dapat diimplementasikan sebagai salah satu teknik kontrol cerdas. Selain sistem pakar teknik kontrol cerdas lain terkenal adalah *fuzzy logic*.

Teknologi robot sampai saat ini udah mengalami perkembangan yang sangat pesat baik robot untuk game, edukasi, industri dan untuk kompetisi. Salah satu robot yang belakangan ini banyak menarik para peneliti untuk dikembangkan adalah robot mobil/beroda baik untuk industri atau dunia pendidikan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan keakuratan navigasi robot beroda agar mampu menjelajah arena dengan mencari titik api di tiap ruangan untuk dipadamkan dengan cepat. Gerakan robot dipengaruhi beberapa item yang memiliki nilai ketidakpastian seperti penempatan sensor, kekuatan motor dan bentuk mekanik robot untuk itu diperlukan metode untuk meningkatkan navigasi yaitu *fuzzy logic* dengan prinsip kerjanya nilai input akan dikelompokkan dalam himpunan fuzzy.

Kata Kunci : Sistem Pakar, Artificial Intelligence, Fuzzy Logic, Robot Mobile, Navigasi

1 Pendahuluan

Artificial Intelligence atau kecerdasan buatan merupakan bidang ilmu yang mengalami inovasi sangat cepat. Bidang ilmu ini lebih ditekankan pada perancangan otomatisasi tingkah laku cerdas dalam sistem kecerdasan komputer. Beberapa bidang ilmu yang menggunakan kecerdasan buatan salah satunya adalah sistem pakar. Dalam kaitannya dengan sistem kontrol, sistem pakar dapat diimplementasikan sebagai salah satu teknik kontrol cerdas. Selain sistem pakar teknik kontrol cerdas lain terkenal adalah *fuzzy logic*. Teknologi robot sampai saat ini udah mengalami perkembangan yang sangat pesat baik robot untuk game, edukasi, industri dan untuk kompetisi. Salah satu robot yang belakangan ini banyak menarik para peneliti untuk dikembangkan adalah robot mobil/beroda baik untuk industri atau dunia pendidikan. Tahun 2004 diadakan kontes KRPI awal pertama kali oleh DP2M Dikti

yang diikuti perguruan tinggi secara regional dan nasional, salah satunya adalah Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) untuk kategori robot beroda. Dalam kontes tersebut robot menjelajah arena dengan mencari titik api di tiap ruangan untuk dipadamkan maka diperlukan kecepatan dan keakuratan robot, untuk itu faktor navigasi sebagai kunci utama.

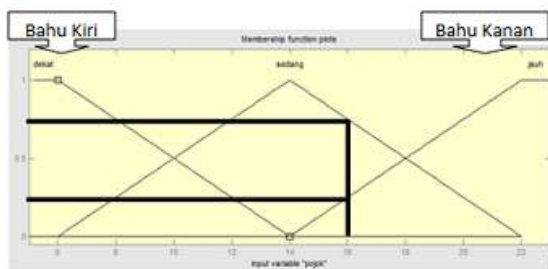
Navigasi robot dipengaruhi beberapa parameter yang tidak linear seperti berat robot, penempatan sensor, kecepatan perputaran motor dan bentuk mekanik robot. Agar navigasi bisa dikontrol diperlukan penerapan *fuzzy logic* supaya robot bisa memiliki kecepatan dan keakuratan dalam kontes.

2 Tinjauan Pustaka

Fuzzy Logic adalah suatu pengetahuan yang membuat komputer dapat meniru kecerdasan manusia sehingga diharapkan komputer dapat melakukan hal-hal yang apabila dikerjakan manusia memerlukan kecerdasan yang dapat diimplementasikan ke suatu perangkat, salah satunya robot. *Fuzzy logic* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh dari Universitas California di Berkeley pada tahun 1965. *Fuzzy logic* diterapkan dalam bidang kontrol oleh E.H. Mamdani dan sejak itu perkembangan *fuzzy* sangat pesat pada tahun 1980-an Jepang mulai membangun produk-produk kebutuhan rumah tangga berbasis *fuzzy logic*. *Fuzzy logic* pada umumnya diterapkan pada masalah-masalah yang mengandung unsur ketidakpastian dan ketidaktepatan. Sebagai contoh jarak "dekat" didefinisikan di bawah 5 cm. Bagaimana dengan jarak 4,999 atau 4,5 apakah masih dikatakan dekat ?. Prinsip kerja dari *fuzzy logic* yang pertama adalah *Fuzzification* Secara garis besar tahap pertama ini berfungsi untuk mengubah suatu besaran analog menjadi *fuzzy input*. Penjelasan proses *fuzzyfikasi* yaitu suatu besaran analog dimasukkan sebagai *input (crisp input)*, lalu *input* tersebut dimasukkan pada batas *scope/domain* sehingga *input* tersebut dapat dinyatakan dengan label (dingin, panas, cepat,

lambat, dll) dari *membership function*. *Membership function* ini biasanya dinamakan *membership function input*.

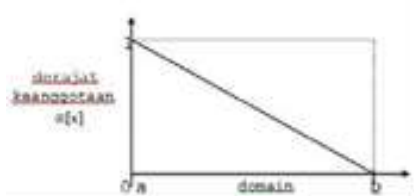
Dari *membership function* inilah kita dapat mengetahui berapa *degree of membership function*-nya (derajat keanggotaan). Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Pada kasus ini digunakan representasi kurva berbentuk bahu.



Gambar 1 kurva bahu

Adapun penyelesaian dalam mencari fungsi keanggotaan setiap representasi sebagai berikut: Fungsi keanggotaan representasi turun,

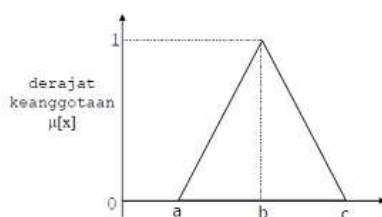
$$\mu[x] = \begin{cases} (b-x)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \quad (1)$$



Gambar 2 fungsi keanggotaan representasi turun

Fungsi keanggotaan representasi naik.

$$\pi[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (b-x)/(c-b); & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2)$$



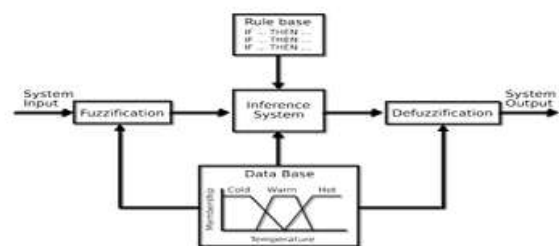
Gambar 4 fungsi keanggotaan kurva segitiga

Kedua Evaluasi Rule Proses ini berfungsi untuk melakukan perhitungan dalam mencari suatu nilai fuzzy output dari fuzzy input. Prosesnya adalah sebagai berikut: suatu nilai fuzzy input yang diperoleh dari proses fuzzifikasi kemudian dimasukkan kedalam sebuah rule yang telah ditentukan sebelumnya untuk dijadikan sebuah fuzzy output. Pada sistem ini rule yang digunakan adalah menggunakan suatu hubungan sebab akibat (If-then). Jika didalam aturan tersebut terdapat lebih dari satu buah kondisi maka akan digunakan suatu implikasi atau pemotongan output dari fungsi keanggotaan. Tiap-tiap aturan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Untuk kasus ini yang akan digunakan dalam implikasi adalah fungsi min. Sedangkan untuk komposisi aturan akan digunakan fungsi max, atau mengambil nilai maksimum dari kumpulan nilai aturan yang sudah didapatkan. Ketiga Defuzzifikasi merupakan proses perubahan variabel berbentuk fuzzy tersebut menjadi data-data pasti (*crisp*) yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian.

3 Rancangan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ada beberapa tahapan yang harus dilakukan yaitu :

3.1 Arsitektur Fuzzy Logic

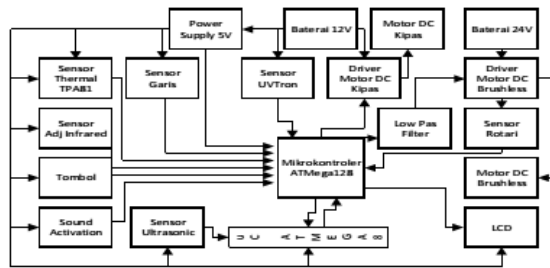


Gambar 5 arsitektur fuzzy logiz

Ada tiga proses utama dalam penerapan fuzzy logic dalam perangkat yaitu fuzzifikasi, evaluasi rule, dan defuzzifikasi.

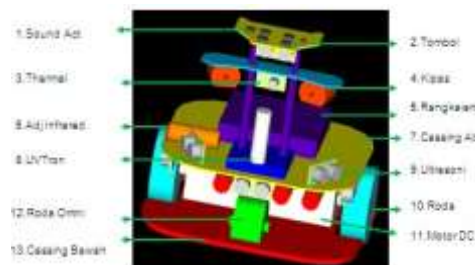
3.2 Diagram Blok

Diagram blok merupakan gambaran dasar dari rangkaian robot yang akan dirancang baik dari input, proses, ataupun output dari robot. Setiap diagram blok mempunyai fungsi masing-masing.



Gambar 6 diagram blok sistem robot

3.3 Mekanik Robot



Gambar 7 mekanik robot

Untuk masing – masing komponen seperti yang dijelaskan dalam tabel berikut :

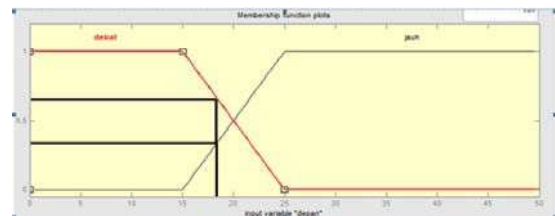
Tabel 1 penjelasan mekanik robot

No	Keterangan	Fungsi
1	Sound Act	Menjalankan robot menggunakan mode suara alarm
2	Tombol	Menjalankan dan mematikan robot menggunakan mode tombol
3	Thermal TPA81	Mencari titik api dalam ruangan
4	Kipas	Mematikan lilin
5	Rangkaian	Hardware pengendali
6	Adj Infrared	Sensor pengindra boneka dan dinding
7	Cassing atas	Penampang robot bagian atas
8	UVTron	Pendeteksi ada tidaknya api pada ruangan
9	Ultrasonic SRF04	Sensor jarak
10	Roda	Roda robot
11	Motor DC Brushless	Aktuator penggerak
12	Roda omni	Roda bagian depan
13	Cassing Bawah	Penampang bawah robot

3.4 Fuzzy Logic

Proses Fuzzifikasi

Setelah mendapatkan informasi jarak setiap sensor yang dikirim oleh mikrokontroler *slave*, maka langkah selanjutnya adalah proses *fuzzyfikasi*. Langkah pertama dalam proses *fuzzyfikasi* adalah membuat *membership function* untuk setiap masukan jarak dari sensor depan, sensor pojok dan sensor kanan robot maupun output berupa PWM untuk motor kanan dan motor kiri. Untuk masing – masing sensor mempunyai tiga buah *membership function* yang nantinya akan menjadi masukan berupa *variable linguistic* untuk proses selanjutnya. Adapun *membership function* setiap sensor sebagai berikut

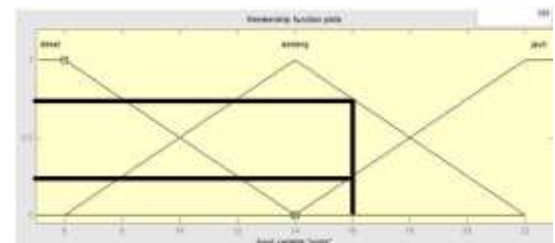


Gambar 8 membership function sensor depan

Adapun contoh membership function dari sensor depan dengan pembacaan jarak sebesar 18 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{Fdekat}[18] &= (25 - 18) / (25 - 15) \\ &= 7 / 10 \\ &= 0.7\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu_{Fjauh}[18] &= (18 - 15) / (25 - 15) \\ &= 3 / 10 \\ &= 0.3\end{aligned}$$



Gambar 9 member function sensor pojok

Adapun contoh membership function dari sensor pojok dengan pembacaan jarak sebesar 16 sebagai berikut:

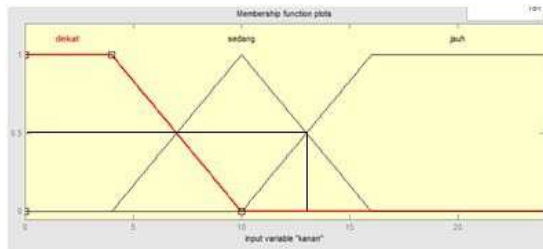
$$\begin{aligned}\mu_{Csedang}[16] &= (22 - 16) / (22 - 14) \\ &= 6/8\end{aligned}$$

$$= 0.75$$

$$\mu_{Cjauh}[16] = (16 - 14) / (22 - 14)$$

$$= 2 / 8$$

$$= 0.25$$



Gambar 10 member function sensor kanan

Adapun contoh membership function dari sensor kanan dengan pembacaan jarak sebesar 13 sebagai berikut:

$$\mu_{Rsedang}[13] = (16 - 13) / (16 - 10)$$

$$= 3 / 6$$

$$= 0.5$$

$$\mu_{Rjauh}[13] = (13 - 10) / (16 - 10)$$

$$= 3 / 6$$

$$= 0.5$$

Evaluasi Rule

Dalam evaluasi rule terjadi pengolahan data input fuzzyfikasi dengan hasil keluaran yang dikehendaki dengan aturan – aturan tertentu. Dari aturan – aturan yang dibentuk inilah yang nantinya akan menentukan respon dari sistem terhadap berbagai kondisi gangguan yang terjadi pada sistem yang akan dibuat. Langkah berikutnya adalah mencari derajat kebenaran untuk setiap aturan. Dikarenakan sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan kolerasi antar aturan. Kolerasi antar aturan dihubungkan dengan logika AND, dengan mengasumsikan bahwa nilai terkecil dari kolerasi tersebut yang akan dijadikan derajat kebenaran.

Dari kumpulan derajat kebenaran inilah yang nantinya akan diambil nilai maximal sebagai nilai konsekuen. Metode ini sering disebut dengan metode inferensi MIN-MAX, dikarenakan mengambil nilai terkecil dari derajat kebenaran antaseden dan mengambil nilai terbesar dari kumpulan derajat kebenaran sebagai konsekuen. Adapun evaluasi rule sebagai berikut:

Tabel 2 Evaluasi rule kanan

No	Ultra Pojok	Ultra Kana	Ultra Depan	PWM Kiri
1	dekat	dekat	iauh	Agak Cepat
2	dekat	sedang	iauh	cepat
3	dekat	iauh	iauh	Agak Cepat
4	sedang	dekat	iauh	cepat
5	sedang	sedang	iauh	Agak Cepat
6	sedang	iauh	iauh	agak pelan
7	iauh	dekat	iauh	agak cepat
8	iauh	sedang	iauh	agak pelan
9	iauh	iauh	iauh	agak pelan
10	dekat	dekat	dekat	sedang
11	dekat	sedang	dekat	sedang
12	dekat	iauh	dekat	sedang
13	sedang	dekat	dekat	Agak Cepat
14	sedang	sedang	dekat	sedang
15	sedang	iauh	dekat	pelan
16	iauh	dekat	dekat	sedang
17	iauh	sedang	dekat	pelan
18	iauh	iauh	dekat	pelan

Tabel 3 Evaluasi rule kiri

No	Ultra Pojok	Ultra Kana	Ultra Depan	PWM Kiri
1	dekat	dekat	iauh	cepat
2	dekat	sedang	iauh	cepat
3	dekat	iauh	iauh	Agak cepat
4	sedang	dekat	iauh	Agak cepat
5	sedang	sedang	iauh	Agak cepat
6	sedang	iauh	iauh	agak pelan
7	iauh	dekat	iauh	agak pelan
8	iauh	sedang	iauh	agak pelan
9	iauh	iauh	iauh	agak pelan
10	dekat	dekat	dekat	Agak cepat
11	dekat	sedang	dekat	sedang
12	dekat	iauh	dekat	sedang
13	sedang	dekat	dekat	sedang
14	sedang	sedang	dekat	sedang
15	sedang	iauh	dekat	pelan
16	iauh	dekat	dekat	pelan
17	iauh	sedang	dekat	pelan
18	iauh	iauh	dekat	pelan

Dari evaluasi rule yang sudah ada maka dapat diketahui setiap sekali siklus pembacaan sensor terjadi 8 buah aturan untuk motor kanan dan 8 buah aturan untuk motor kiri yang saling berkaitan, adapun aturan sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil pembacaan evaluasi rule kanan

No	Ultra Pojok	Ultra Kana	Ultra Depan	PWM Kiri
1	sedang	sedang	iauh	Agak Cepat
2	sedang	iauh	iauh	agak pelan
3	iauh	sedang	iauh	agak pelan
4	iauh	iauh	iauh	agak pelan
5	sedang	sedang	dekat	sedang
6	sedang	iauh	dekat	pelan
7	iauh	sedang	dekat	pelan
8	iauh	iauh	dekat	pelan

Tabel 5 Hasil pembacaan evaluasi rule kiri

No	Ultra Pojok	Ultra Kana	Ultra Depan	PWM Kiri
1	sedang	sedang	iauh	Agak cepat
2	sedang	iauh	iauh	agak pelan
3	iauh	sedang	iauh	agak pelan
4	iauh	iauh	iauh	agak pelan
5	sedang	sedang	dekat	sedang
6	sedang	iauh	dekat	pelan
7	iauh	sedang	dekat	pelan
8	iauh	iauh	dekat	pelan

Adapun contoh dari evaluasi rule dengan menggunakan metode min-max sebagai berikut:

- $\alpha_{\text{Predikat1}} = \mu_{\text{Csedang}} \wedge \mu_{\text{Fsedang}} \wedge \mu_{\text{Rjauh}}$
 $= \min(0.75, 0.5, 0.3)$
 $= 0.3$
 $Z_{\text{kiri1}} = 70$
 $Z_{\text{kanan1}} = 100$
- $\alpha_{\text{Predikat2}} = \mu_{\text{Csedang}} \wedge \mu_{\text{Fjauh}} \wedge \mu_{\text{Rjauh}}$
 $= \min(0.75, 0.5, 0.3)$
 $= 0.3$
 $Z_{\text{kiri2}} = 100$
 $Z_{\text{kanan2}} = 70$
- $\alpha_{\text{Predikat3}} = \mu_{\text{Cjauh}} \wedge \mu_{\text{Fsedang}} \wedge \mu_{\text{Rjauh}}$
 $= \min(0.25, 0.5, 0.3)$
 $= 0.25$
 $Z_{\text{kiri3}} = 100$
 $Z_{\text{kanan3}} = 70$
- $\alpha_{\text{Predikat4}} = \mu_{\text{Cjauh}} \wedge \mu_{\text{Fjauh}} \wedge \mu_{\text{Rjauh}}$
 $= \min(0.25, 0.5, 0.3)$
 $= 0.25$

$$Z_{\text{kiri4}} = 100$$

$$Z_{\text{kanan4}} = 70$$

- $\alpha_{\text{Predikat5}} = \mu_{\text{Csedang}} \wedge \mu_{\text{Fsedang}} \wedge \mu_{\text{Rdekat}}$
 $= \min(0.75, 0.5, 0.7)$
 $= 0.5$

$$Z_{\text{kiri5}} = 90$$

$$Z_{\text{kanan5}} = 90$$

- $\alpha_{\text{Predikat6}} = \mu_{\text{Csedang}} \wedge \mu_{\text{Fjauh}} \wedge \mu_{\text{Rdekat}}$
 $= \min(0.75, 0.5, 0.7)$
 $= 0.5$

$$Z_{\text{kiri6}} = 110$$

$$Z_{\text{kanan6}} = 60$$

- $\alpha_{\text{Predikat7}} = \mu_{\text{Cjauh}} \wedge \mu_{\text{Fsedang}} \wedge \mu_{\text{Rdekat}}$
 $= \min(0.25, 0.5, 0.7)$
 $= 0.25$

$$Z_{\text{kiri7}} = 110$$

$$Z_{\text{kanan7}} = 60$$

- $\alpha_{\text{Predikat8}} = \mu_{\text{Cjauh}} \wedge \mu_{\text{Fjauh}} \wedge \mu_{\text{Rdekat}}$
 $= \min(0.25, 0.5, 0.7)$
 $= 0.25$

$$Z_{\text{kiri8}} = 110$$

$$Z_{\text{kanan8}} = 60$$

Setelah nilai linguistik keluaran telah mendapatkan nilai derajat keanggotaan, maka pada nilai linguistik keluaran yang sejenis dicari nilai derajat keanggotaan yang maksimum untuk digunakan dalam pengolahan data selanjutnya, yakni defuzzifikasi.

- Motor kiri
 $\text{Cepat} = 0$
 $\text{Agak Cepat} = \alpha_{\text{Predikat1}}$
 $= 0.3$
 $\text{Sedang} = \alpha_{\text{Predikat5}}$
 $= 0.5$
 $\text{Agak Pelan} = \max(\alpha_{\text{Predikat2}}, \alpha_{\text{Predikat3}}, \alpha_{\text{Predikat4}})$
 $= \max(0.3, 0.25, 0.25)$
 $= 0.25$
 $\text{Pelan} = \max(\alpha_{\text{Predikat6}}, \alpha_{\text{Predikat7}}, \alpha_{\text{Predikat8}})$

$$= \max(0.5, 0.25, 0.25)$$

$$= 0.5$$

- Motor kanan

$$\text{Cepat} = 0$$

$$\begin{aligned}\text{Agak Cepat} &= \alpha \text{Predikat1} \\ &= 0.3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sedang} &= \alpha \text{Predikat5} \\ &= 0.5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Agak Pelan} &= \max(\alpha \text{Predikat2}, \alpha \text{Predikat3}, \alpha \text{Predikat4}) \\ &= \max(0.3, 0.25, 0.25) \\ &= 0.25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pelan} &= \max(\alpha \text{Predikat6}, \alpha \text{Predikat7}, \alpha \text{Predikat8}) \\ &= \max(0.5, 0.25, 0.25) \\ &= 0.5\end{aligned}$$

Defuzzyfikasi

Dari keluaran evaluasi rule terdapat dua buah output yaitu berupa nilai evaluasi rule motor kanan dan nilai evaluasi rule kiri. Dikarenakan ada dua keluaran maka proses defuzzyfikasi juga dilakukan dua kali, yaitu untuk motor kanan dan motor kiri. Metode yang digunakan untuk proses ini adalah defuzzyfikasi model sugeno orde satu. Nilai konsekuen untuk evaluasi rule bukan berbentuk fuzzy lagi melainkan berbentuk konstanta atau persamaan linear

$$\text{Final Output} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (4)$$

Adapun contoh dari pengambilan hasil evaluasi rule dengan menggunakan metode min - max untuk defuzzyfikasi seperti berikut:

$$\begin{aligned}\text{Pwm Left} &= (\text{motor kiri cepat} * \text{cepat}) + (\text{motor kiri} \\ &\quad \text{agak cepat} * \text{agak cepat}) + (\text{motor kiri} \\ &\quad \text{sedang} * \text{sedang}) + (\text{motor kiri ag pelan} \\ &\quad * \text{agak pelan}) + (\text{motor kiri pelan} * \\ &\quad \text{pelan}) / (\text{motor kiri cepat} + \text{motor kiri} \\ &\quad \text{agak cepat} + \text{motor kiri sedang} + \text{motor} \\ &\quad \text{kiri agak pelan} + \text{motor kiri pelan}) \\ &= (0 * 60) + (0.3 * 70) + (0.5 * 90) + \\ &\quad (0.25 * 100) + (0.5 * 110) / (0 + 0.3 \\ &\quad + 0.5 + 0.25 + 0.5) \\ &= (0 + 21 + 45 + 25 + 55) / (1.55)\end{aligned}$$

$$= 94.19$$

$$\begin{aligned}\text{Pwm Right} &= (\text{motor kanan cepat} * \text{cepat}) + (\text{motor} \\ &\quad \text{kanan agak cepat} * \text{agak cepat}) + (\text{motor} \\ &\quad \text{kanan sedang} * \text{sedang}) + (\text{motor kanan} \\ &\quad \text{agak pelan} * \text{agak pelan}) + (\text{motor kanan} \\ &\quad \text{pelan} * \text{pelan}) / (\text{motor kanan cepat} + \\ &\quad \text{motor kanan agak cepat} + \text{motor kanan} \\ &\quad \text{sedang} + \text{motor kanan agak pelan} + \text{motor} \\ &\quad \text{kanan pelan}) \\ &= (0 * 110) + (0.3 * 100) + (0.5 * 90) \\ &\quad + (0.25 * 70) + (0.5 * 60) / (0 + 0.3 \\ &\quad + 0.5 + 0.25 + 0.5) \\ &= (0 + 30 + 45 + 17.5 + 30) / (1.55) \\ &= 79.03\end{aligned}$$

Dari sinilah akan dihasilkan keluaran berupa konstanta nilai PWM untuk mengatur kecepatan motor kanan dan juga PWM untuk motor kiri. Setelah mendapatkan nilai PWM kanan dan nilai PWM kiri, selanjutnya mencoba menjalankan robot. Amati respon robot terhadap obstacle atau respon pembacaan dinding, sudah sesuai atau belum. Ketika robot masih mengalami osilasi maka harus mengubah rule ataupun kombinasi nilai PWM yang kurang tepat pada defuzzyfikasi yang telah dibuat sampai robot berjalan menyusuri dinding dengan bagus. Cara coba - coba ini dilakukan karena setiap robot memiliki kondisi yang berbeda - beda baik dalam program, rangkaian dan juga mekanik.

4 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan serta pengujian yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya, maka dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Untuk mendapat respon yang baik pada sistem fuzzy logic kontroler dapat dilakukan tuning evaluasi rules serta membership function.
2. Penggunaan algoritma right wall following pada saat robot bernavigasi menggunakan metode fuzzy logic berhasil membuat robot menemukan sumber api dan memadamkannya dengan prosentase keberhasilan 80%.
3. Pada hasil pengujian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat diketahui kecepatan kontroler fuzzy dalam bernavigasi sebesar 36.9 detik dengan rata - rata pinalti sebanyak 3 kali, sedangkan kontroler lain sebesar 41.1 detik dengan rata - rata pinalti sebesar 7 kali pada saat bernavigasi tanpa

mematikan titik api. Selisih kedua kontroler sebesar 5 detik dan selisih pinalti sebanyak 4 kali. Sehingga dapat dikatakan kontroler fuzzy lebih cepat dan tepat dibandingkan dengan kontroler yang lain.

5 Daftar Pustaka

- [1] Sri Kusumadewi, "Artificial Intelligence" Graha Ilmu, 2003.
- [2] Arwani, dkk. 2005. "Model Pembobotan Ultrasonic Rangefinder Sebagai Input Kontrol Fuzzy Untuk Obstacle Avoidance Pada Robot Cerdas Pemadam Api". Politeknik Negeri Surabaya - ITS. Surabaya.
- [3] Samsul, Fahmi 12. "Rancang Bangun Perangkat Lunak Alat Pendeteksi Dini dan Penanggulangan Kebocoran Gas LPG Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535" jurusan Sistem Komputer. Sekolah Tinggi
- [4] Buku Panduan KRPAI 2014.
- [5] Rully Muhammad Iqbal, dkk. 2012. "Implementasi Sistem Navigasi Behavior - Based Robotic dan Kontroler Fuzzy pada Manuver Robot Cerdas Pemadam Api" Jurnal Teknik Pomits, Vol. 1 No. 1 ITS.
- [6] Nuryono Satya Widodo, "Penerapan Multi-Mikrokontroler Pada Model Robot Mobil Berbasis Logika Fuzi". Telekomnika Vol 13 No 1, Universitas Ahmad Dahlan. (UAD) Yogyakarta.

Rancang Bangun Prototipe Wahana Bawah Air Tipe Working Class ROV (Remote Operating Vehicle)

¹Aditya Ramanda*), ²Indra Jaya, ²Sri Pujiyati, ²Muhammad Iqbal

¹Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan Program Sarjana IPB

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan FPIK IPB Kampus IPB Dramaga Bogor

aditya_itk48@yahoo.co.id*

Abstrak

ROV adalah sebuah robot bawah laut yang dikendalikan oleh operator ROV untuk pekerjaan di bawah air. ROV terbagi menjadi lima kelas yaitu: *Pure Observation*, *Observation With Payload Option*, *Work Class Vehicles*, *Seabed-Working Class*, dan *Prototype or Development Vehicles*. Dalam penelitian ROV telah dikembangkan RJBA V.2015 dengan penambahan manipulator, sensor dan perbaikan sistem olah gerak robot. Tujuan dari penelitian adalah mengembangkan robot jelajah bawah air sehingga dapat melakukan fungsinya dalam hal eksplorasi bawah laut. Tahapan penelitian terdiri dari rancang bangun RJBA V.2015, elektronika, program kendali, dan mekanika. RJBA V.2015 ini memiliki berat ± 18 kg dengan dimensi 107 cm x 35 cm x 20 cm. Robot ini memiliki *manipulator* dengan bukaan maksimal 10 cm, 4 motor penggerak, sensor 10 DOF dan dihubungkan dengan kabel sepanjang 15 meter. Robot ini termasuk kedalam kategori III A *Work Class Vehicles*. RJBA V.2015 mampu melakukan pergerakan secara horizontal dan vertikal dengan baik. *Manipulator* RJBA V.2015 dibuat sederhana, mampu bergerak terhadap sumbu X, Y, Z serta mampu mencapit dengan baik.

Kata kunci: ROV, RJBA V.2015, Sensor, Pergerakan, Manipulator.

1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dunia berkembang sangat pesat, salah satu pengembangan adalah teknologi jelajah bawah air. Indonesia sebagai Negara kepulauan dengan luas laut mencapai 5,8 juta km² sudah sepatutnya ikut andil dalam pengembangan teknologi bawah air. Bentuk dari pengembangan teknologi bawah air adalah terciptanya *Remotely Operated Vehicle* (ROV). ROV adalah sebuah robot bawah laut yang dikendalikan oleh operator ROV, yang digunakan untuk pekerjaan di lingkungan yang berbahaya terutama laut dalam [1]. ROV sekarang menjadi sebuah alat yang sangat penting untuk mengeksplorasi dan mengeksploitasi kondisi lingkungan bawah air karena mampu melakukan pekerjaan yang bersifat tehnik di bawah air [2].

Menurut Woods [3], ROV memiliki peran dalam hal observasi bawah air terutama dalam observasi fasilitas produksi minyak sekaligus menggantikan tugas dari penyelam yang memiliki keterbatasan. ROV juga dapat digunakan untuk pemetaan dan monitoring terumbu karang, pengamatan dan instalasi kabel bawah air, eksplorasi dan observasi laut dalam, dan berbagai tugas lainnya sesuai kemampuan robot bawah air. ROV memiliki fungsi masing-masing dari wahana bawah air berdasarkan kelasnya. Menurut NTC (Norwegian Technology Center) [4], RJBA terbagi menjadi lima kelas yaitu: *Pure Observation*, *Observation With Payload Option*, *Work Class Vehicles*, *Seabed-Working Class*, dan *Prototype or Development Vehicles*. Semakin berkembangnya teknologi, ROV terus dikembangkan kemampuannya untuk dapat melakukan berbagai hal di bawah air [5]. Menurut NOAA [6], kemampuan ROV dapat ditingkatkan dengan menambahkan beberapa instrumen seperti manipulator, water sampler, dan Conductivity, Temperature and Depth.

Rancang bangun atau desain bangunan adalah suatu proses perancangan yang menggambarkan sistematika suatu bangunan. Rancang bangun bertujuan untuk mempermudah dalam pembuatan suatu bangunan. Rancang bangun pada penelitian ini berupa perancangan lengan *manipulator* dan perancangan Robot Jelajah Bawah Air (RJBA). Lengan *manipulator* merupakan robot berbentuk lengan yang berfungsi untuk memanipulasi (memegang, mengambil, mengangkat, memindahkan) obyek. Menurut Ahadyat [7] *manipulator* lengan merupakan sebuah perangkat mekanik yang berbentuk dan berfungsi menyerupai lengan manusia.

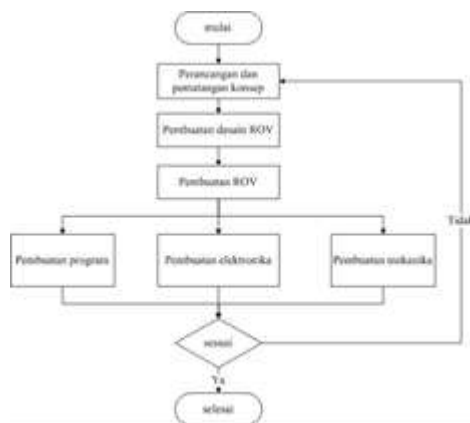
Pengembangan RJBA di Indonesia tidak terlalu maju dibanding negara lain. Indonesia sebagai negara kepulauan sangat membutuhkan sebuah RJBA, namun RJBA yang digunakan merupakan produk dari negara lain bukan ciptaan Indonesia. Di Indonesia RJBA masih dalam pengembangan oleh institusi di bidang teknologi khususnya teknologi kelautan. Di Institut Pertanian Bogor yang diwakilkan oleh Departemen Ilmu dan Teknologi

Kelautan telah mengembangkan robot bawah air. Beberapa penelitian mengenai RJBA yang telah dilakukan oleh Kusuma [8] dan Putra [9] namun masih belum mencapai kesempurnaan dalam hal olah gerak, dan perangkat tambahan seperti sensor. Mengingat fungsi dan manfaat robot bawah air di bidang kelautan, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai robot bawah air.

1.2 Metode

Rancang Bangun RJBA V.2015

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Putra [9] memiliki beberapa saran di antaranya : penyempurnaan sistem *Ballast* dan penambahan sensor navigasi seperti sensor tekanan, kedalaman, dan sensor lainnya. Menindaklanjuti saran dari penelitian sebelumnya, pengembangan yang akan dilakukan pada RJBA versi 2015 (RJBA V.2015) ini adalah perancangan manipulator, penambahan sensor tekanan, sensor suhu, dan sensor 10 DOF. Perancangan robot jelajah bawah air ini terbagi menjadi 4 bagian, yaitu bagian desain, bagian *programming*, bagian elektronik, dan bagian mekanik. Diagram alir penelitian tertera pada Gambar 1.

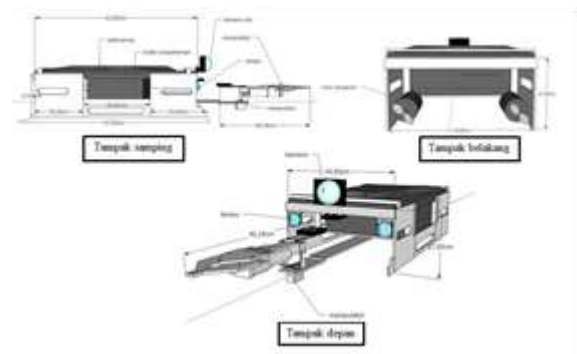


Gambar 1 diagram alir penelitian

Rancang Bangun Desain

Pembuatan desain merupakan tahap awal dalam pembuatan RJBA V.2015. Tahap ini merupakan tahap pemantapan konsep dan pengembangan konsep dari pembuatan RJBA V.2015. Dalam penelitian ini RJBA V.2015 yang dibuat bertujuan untuk melakukan observasi bawah air. Untuk menjalankan tugas tersebut, RJBA V.2015 ini dilengkapi cctv sebagai kamera untuk melakukan observasi. Selain itu untuk memudahkan RJBA

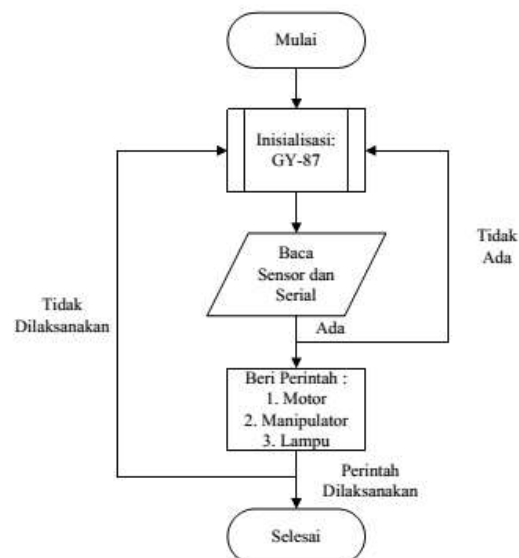
V.2015 untuk melakukan manuver, RJBA V.2015 ini dilengkapi 4 buah motor penggerak. RJBA V.2015 yang akan dibuat juga dilengkapi dengan manipulator yang berguna pada saat pengambilan sampel atau objek di bawah air. Gambar RJBA V.2015 secara 3 dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 model rjba v.2015

Rancang Bangun Program

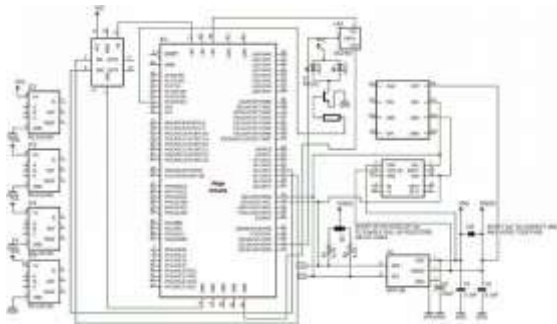
Bagian ini merupakan tahap pembuatan perintah kerja yang dipasang pada Arduino Mega 2560. Gambar 3 menunjukkan Diagram Alir Program. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino dan Microsoft Visual Studio. Pada Arduino menggunakan bahasa pemrograman C++ sedangkan Microsoft Visual Studio menggunakan bahasa pemrograman C#. Arduino yang digunakan adalah versi 1.0.6, yang berfungsi untuk memprogram sensor, motor *brushless*, motor DC, dan motor servo. Microsoft Visual studio berfungsi untuk membuat GUI (*Guide User Interface*).



Gambar 3 diagram alir program rjba v.2015

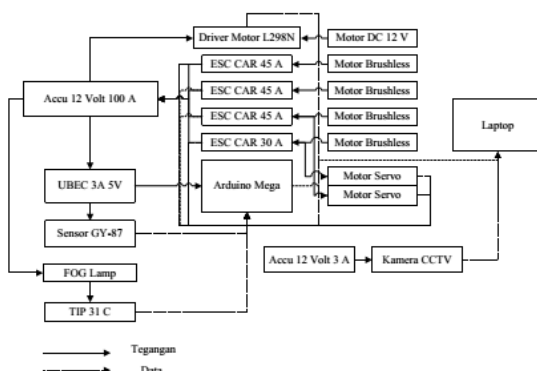
Rancang Bangun Elektronika

Pada bagian ini merupakan tahap perakitan komponen dari RJBA V.2015. Tahap ini dilakukan dengan menghubungkan komponen-komponen elektronika seperti Arduino Mega, Kamera, Sensor, Motor *Brushless*, dan komponen lainnya. Di bawah ini merupakan skematik rancangan elektronika yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 skematik rancangan elektronika

Komponen elektronik yang telah tersusun secara skematik akan berfungsi sesuai kegunaannya. Komponen elektronik memiliki hubungan fungsional antar komponen, baik berupa data dan tegangan. Hubungan antar tegangan bersumber dari accu dan hubungan antar data berpusat di Arduino Mega. Accu akan memberikan tegangan untuk menyalakan semua komponen, Arduino Mega akan mengirimkan sinyal perintah, sinyal perintah yang diterima akan dijalankan oleh setiap komponen. Adapun hubungan fungsional antara semua bagian elektronika dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 hubungan fungsional elektronika

Rancang Bangun Mekanika

Bagian ini berkaitan dalam pembentukan fisik dari RJBA V.2015. Pembentukan fisik RJBA V.2015

terdiri dari pembuatan *frame*, *box* kompartemen, *manipulator*, penempatan motor, *body* RJBA V.2015, dan hal lainnya yang berhubungan dengan bentuk fisik RJBA V.2015. *Frame* dibuat menggunakan bahan dari plat alumunium 5 mm. *Manipulator* dibuat menggunakan plat alumunium 5 mm. *Body* RJBA V.2015 dibuat menggunakan *polyurethane* yang nantinya dilapisi oleh resin, sedangkan *box* kompartemen menggunakan resin.

Uji Coba RJBA V.2015

Uji coba RJBA V.2015 dilakukan di *Watertank laboratorium* Akustik dan Instrumentasi Kelautan dan di kolam renang Babakan Ijo. Uji coba di *watertank* ditujukan untuk melihat *buoyancy* robot dan fungsi dari komponen-komponen robot. Uji coba lab menunjukkan bahwa semua komponen sudah berfungsi dengan baik namun robot tidak mampu masuk ke dalam air yang dikarenakan gaya apung robot lebih besar. Menindaklanjuti permasalahan gaya apung, maka RJBA V.2015 diberi beban agar mampu melayang di bawah air. Informasi tambahan mengenai uji coba lab dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2. Uji coba di Kolam Babakan Ijo ditujukan untuk melihat manuver dan kestabilan dari RJBA V.2015. Uji coba kolam menunjukkan RJBA V.2015 memiliki kestabilan yang baik serta mampu melakukan manuver dengan baik. RJBA ini dapat diaplikasikan pada perairan tenang seperti danau.

2 Diskusi

Hasil dari penelitian ini berupa Robot Jelajah Bawah Air V. 2015 dengan panjang 107 cm, lebar 35 cm, tinggi 20 cm, dan berat total ± 18 kg. Robot ini dilengkapi manipulator, 4 *thruster* sebagai penggerak, lampu, kamera cctv, dan sensor-sensor tambahan. RJBA V.2015 menggunakan 4 buah *thruster* yang bertujuan agar robot dapat melakukan pergerakan dasar yaitu maju, mundur, belok kanan, belok kiri, naik, dan turun. Kamera yang digunakan pada RJBA V.2015 memiliki resolusi sebesar 976 x 582 pixel. Robot ini menggunakan kabel sepanjang 15 meter untuk komunikasi serial dengan kendali di permukaan menggunakan laptop Menurut Newman dan Robinson [10] kabel yang digunakan haruslah bersifat tahan lama dan memiliki kualitas yang baik agar mengurangi gangguan proses komunikasi serial. RJBA V.2015 ini dapat diklasifikasikan ke dalam kelas III A *Work class vehicles* dan kelas V *Prototype or Development Vehicles* [4]. *Work class vehicles* III A yaitu wahana mampu membawa sensor tambahan dan manipulator tanpa mengganggu sistem pusat dengan kemampuan di

bawah 100 Horse Power. Gambar 6 menunjukkan RJBA V.2015.



Gambar 6 rjba v.2015

Bagian Desain RJBA V.2015

Robot jelajah bawah air yang dikembangkan kali ini merupakan pengembangan dari desain dari RJBA V.2014, yang mana robot ini memiliki pelampung berbentuk persegi panjang dengan dimensi pelampung 65 cm x 35 cm. Bentuk persegi panjang bertujuan untuk memudahkan titik berat robot dan tata letak komponen dengan tepat agar memiliki keseimbangan yang baik ketika beroperasi di dalam air [9]. Pelampung yang terdapat pada RJBA V.2015 berfungsi sebagai pelampung dan menjaga keseimbangan robot. Pada RJBA V.2015 didesain untuk memiliki kotak kompartemen sendiri, yang mana kotak kompartemen tidak menyatu dengan pelampung. Hal tersebut dilakukan agar kompartemen tidak mengalami gangguan jika terjadi kebocoran pada pelampung dan hal tersebut tidak dimiliki pada generasi sebelumnya.

Bagian Mekanika RJBA V.2015

Bagian mekanika merupakan pembahasan mengenai bentuk fisik dari RJBA yang telah dibuat. Pembuatan bagian mekanika pada RJBA V.2015 terbagi menjadi: rangka, *box* kompartemen, pelampung (*body* RJBA V.2015), dan *manipulator*. Secara fisik RJBA V.2015 dibuat menggunakan plat alumunium, *Polyurethane* dan resin.

Kerangka fisik RJBA V.2015 yang terdiri dari kerangka luar (*frame*), kotak kompartemen, dan pelampung (*body* RJBA V.2015). Kerangka luar (*frame*) dibuat dengan menggunakan plat alumunium dengan ketebalan 5 mm. Penggunaan plat alumunium dikarenakan memiliki daya tahan yang kuat dan tidak mudah korosi. Plat alumunium juga digunakan dalam pembuatan manipulator. Kotak kompartemen yang digunakan terbuat dari resin dengan ketebalan mencapai 2 cm dan dilengkapi dengan karet yang berfungsi untuk menahan masuknya air ke kotak kompartemen. Pelampung atau *body* RJBA V.2015 terbuat dari *polyurethane* yang kemudian dilapisi resin. Penggunaan *polyurethane* dikarenakan mudah

dibentuk sesuai keinginan dan pelapis resin bertujuan untuk memperkuat pelampung. Kotak kompartemen diletakkan di bawah pelampung. kotak kompartemen dibuat kedap udara, hal ini dilakukan dengan cara menekan karet menggunakan akrilik sebagai penutup, kemudian di baut agar dapat tertekan dengan kuat. *Manipulator* (Gambar 7) terbuat dari plat alumunium 5 mm yang disusun menyerupai penjepit. *Manipulator* ditujukan untuk menjepit objek.



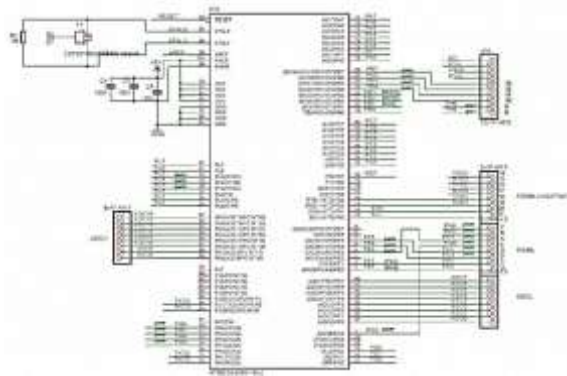
Gambar 7 manipulator

Sistem Elektronik RJBA V.2015

Sistem elektronik merupakan rangkaian dari komponen-komponen yang saling terhubung sesuai dengan fungsi dan tujuannya. Pada RJBA V.2015 dilengkapi dengan komponen-komponen berupa Arduino Mega, Accu 12 V, kamera CCTV, *Underwater lamp*, motor servo, dan sensor tambahan. Arduino Mega digunakan sebagai pengendali utama dari semua komponen, yang nantinya akan ditampilkan pada *interface*.



Gambar 8 arduino mega 2560



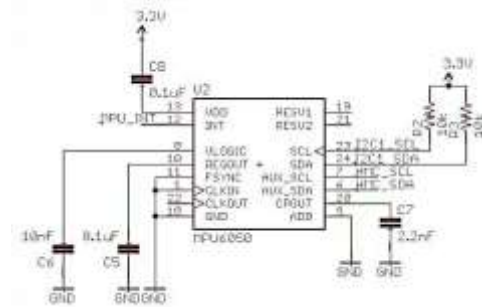
Gambar 9 rangkaian elektronik arduino mega 2560

Gambar 8 menunjukkan bentuk dari Arduino Mega 2560 yang digunakan pada RJBA V.2015 dan Gambar 9 menunjukkan rangkaian elektronik dari Arduino Mega. Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega2560. Arduino Mega 2560 memiliki 54 pin yang dapat digunakan sebagai input dan output. Arduino Mega juga dilengkapi kristal eksternal 16 MHz yang memungkinkan proses instruksi perintah berjalan dengan cepat [11].



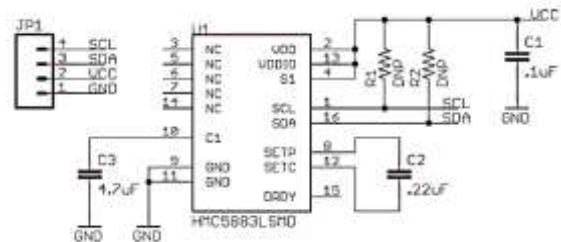
Gambar 10 sensor gy-87

Gambar 10 menunjukkan sensor Gy-87 yang merupakan sensor tambahan yang terdapat pada RJBA V.2015. Gy-87 merupakan sensor 10 DOF yang terdiri dari 3 axis Gyro, 3 axis Acceleration, 3 axis Magnetic Field dan Air Pressure Module. Gy-87 adalah gabungan dari MPU-6050, HMC5883L, dan BMP180. MPU-6050 adalah sebuah sensor yang terdiri dari MEMS Accelerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas *hardware internal* 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z bersamaan dalam satu waktu. Gambar 11 menunjukkan rangkaian utama MPU-6050.



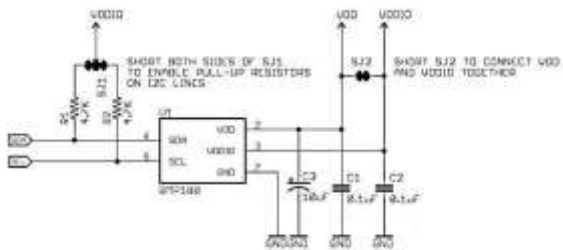
Gambar 11 rangkaian mpu-6050

HMC5883L adalah sensor magnet yang tersusun atas sensor resistif magnet beresolusi tinggi dengan demagnetisasi otomatis, penghilang offset dan ADC 12-bit untuk pengukuran medan magnet bumi dengan resolusi tinggi. Menggunakan teknologi *anisotropic magneto-resistive* (AMR) Honeywell. HMC5883L menyediakan kepresisian lebih pada sensitifitas dan linieritas sumbu dan dirancang untuk mengukur kedua arah dan medan magnet bumi. Gambar 12 menunjukkan rangkaian dari HMC5883L.



Gambar 12 rangkaian hmc5883l

BMP180 adalah sensor tekanan barometrik (digital barometric pressure sensor) dari Bosch Sensortec yang berkinerja sangat tinggi yang dapat diaplikasikan pada berbagai perangkat bergerak. Sensor ini menghasilkan data tekanan. Data tekanan yang diperoleh akan dikonversikan menjadi data kedalaman, yang digunakan untuk mengetahui kedalaman yang ditempuh oleh RJBA V.2015. Gambar 13 menunjukkan rangkaian dari BMP180.



Gambar 13 rangkaian bmp180

Program Utama RJBA V.2015

Robot Jelajah Bawah Air menggunakan mikrokontroller Arduino Mega sebagai pusat pengolahan sistem kendali terhadap robot. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C Arduino dan Bahasa C# pada Visual Studio. Adanya pemrograman sangat penting, menurut Idris [12] mikrokontroler tidak dapat bekerja tanpa adanya perangkat lunak atau program yang tertanam di dalamnya. Program yang tertanam pada mikrokontroler dibuat untuk dapat mengatur pergerakan robot, mengatur manipulator, menerima data sensor, serta mengirim data ke interface pada laptop. Menurut Olejnik [13], tampilan observasi secara langsung dari ROV akan membantu untuk mengidentifikasi objek di bawah laut. Interface yang terdapat pada laptop dibuat dengan menggunakan bahasa C# pada Microsoft Visual Studio. Gambar 14 menunjukkan interface RJBA V.2015 pada laptop.



Gambar 14 interface rjba v.2015

Interface memuat gambar hasil dari kamera CCTV, dan data sensor. Gambar berwarna merah pada interface merupakan gambar dua bola yang dijadikan sebagai objek di bawah air. Data sensor yang ditampilkan adalah *roll*, *pitch*, *yaw*, dan *depth*. Data *roll* menunjukkan kemiringan robot terhadap sumbu x (berguling). Data *pitch* menunjukkan kemiringan robot terhadap sumbu y (mengangguk). Data *yaw* pada interface menunjukkan data kompas, yang bertujuan untuk mengetahui ke arah mana robot menghadap menurut mata angin dalam

satuan derajat. Robot ini memiliki kestabilan yang baik dengan di kedalaman 3 meter, dengan keadaan *rolling*, *pitching*, dan *yawing* yang stabil. Nilai *rolling* berkisar 0 sampai 10 derajat, *pitching* 0 sampai 30 derajat, dan *yawing* bernilai sesuai arah kompas. Nilai *pitching* yang mencapai 30 derajat dikarenakan penambahan manipulator pada bagian depan, sehingga bagian depan robot lebih berat. Data Kedalaman pada interface belum menunjukkan data sesungguhnya sehingga perlu adanya kalibrasi dan penambahan formula agar mendapat nilai yang sesungguhnya. Data kedalaman yang diinginkan juga dapat diperoleh dengan menggunakan sensor yang lebih baik atau penambahan sistem sonar pada robot. Kolom status pada interface menunjukkan kegiatan yang sedang dilakukan oleh robot. Kolom status juga digunakan untuk memberi perintah kepada RJBA V.2015. perintah yang diberikan dapat berupa mengetik 'L' maka lampu akan menyala, mengetik 'shift' maka robot akan naik, mengetik 'ctrl' maka robot akan turun, mengetik '→' dan '←' maka robot akan berbelok kanan dan kiri, mengetik 'j' dan 'k' maka manipulator akan bergerak kanan dan kiri.

Olah Gerak RJBA V.2015

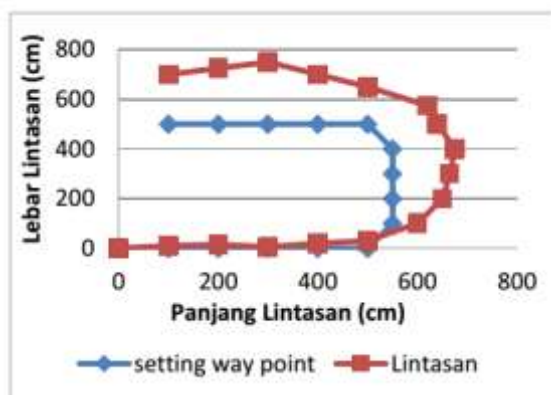
Robot Jelajah Bawah Air adalah robot yang mampu melakukan tugas di dalam air dengan kendali dari permukaan. RJBA V.2015 dapat melakukan tugasnya robot ini harus mampu melakukan olah gerak yang baik. Robot ini dilengkapi dengan 4 buah motor penggerak, yang terdiri dari 2 motor untuk pergerakan secara horizontal dan 2 motor untuk pergerakan secara vertikal. RJBA V.2015 ini memiliki perbedaan pada penggunaan motor dengan generasi sebelumnya. RJBA V.2015 menggunakan motor *brushless* dengan kekuatan 1060 kv dan dilengkapi *propeller* 2 daun berbahan aluminium. *Propeller* diperuntukkan mengarahi aliran fluida yang berguna untuk menjalankan RJBA. Menurut Christ dan Wernli [14], baling-baling didesain untuk bergerak dan mengarahkan fluida berlawanan dengan arah gerak. Menurut Ismail [15], semakin sedikit jumlah daun propeller, maka efisiensi propeller semakin tinggi, namun masing-masing daun akan menanggung beban yang lebih besar.

Penggunaan motor *brushless* dikarenakan motor jenis ini memiliki ukuran yang lebih kecil dan lebih mudah mengatur kecepatan motor dibandingkan pada generasi sebelumnya. 2 motor penggerak vertikal diletakkan di depan dan di belakang dengan posisi berada di tengah, sedangkan 2 motor penggerak horizontal diletakkan di belakang dengan posisi berada di kiri dan kanan. Motor penggerak pertama berada di depan, kedua di belakang, motor penggerak ketiga dan keempat

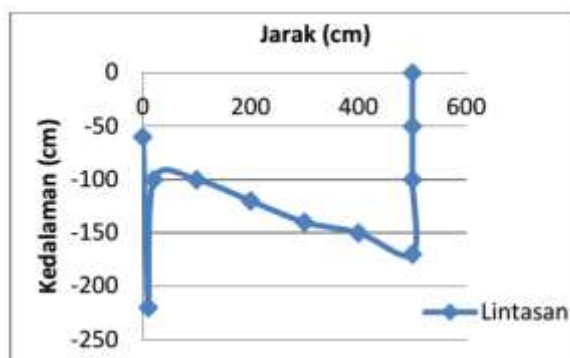
berada di belakang kiri dan kanan. Tabel 4 merupakan olah gerak robot berdasarkan ujicoba kolom. Gambar 15 dan 16 menunjukkan Pola pergerakan dari Robot.

Table 1 olah gerak rjba v.2015 berdasarkan tata letak dan arah putaran

T1	T2	T3	T4	Performa RJBA V.2015
CW	CW	-	-	Bergerak Turun
CCW	CCW	-	-	Bergerak Naik
-	-	CW	CW	Maju Kedepan
-	-	CCW	CCW	Mundur
-	-	CW	CCW	Maju kekanan
-	-	CCW	CW	Maju Kekiri
keterangan : T=Thruster, CW=Clockwise, CCW=Counter Clockwise				



Gambar 15 pergerakan robot secara horizontal

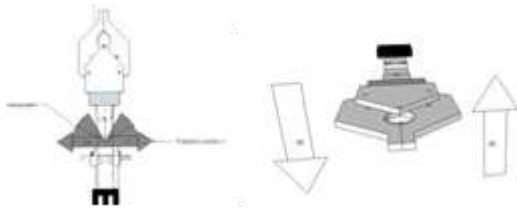


Gambar 16 pergerakan robot secara vertical

Robot ini dapat melakukan pergerakan dengan baik seperti yang terlihat pada Gambar 10 dan 11. Pada Gambar 15 robot dapat bergerak maju dengan baik, namun robot masih memiliki kekurangan dalam berbelok. Pada pergerakan berbelok robot tidak dapat berbelok patah, sehingga mengharuskan robot mengambil jarak yg cukup jauh. Hal tersebut dikarenakan penempatan motor penggerak belakang kiri dan kanan yang tidak baik. Motor penggerak belakang berada di belakang kotak kompartemen, sehingga aliran air yang datang hanya dari belakang dan samping motor. Hal tersebut menyebabkan kemampuan RJBA V.2015 dalam melaju dan mundur berbeda. Penempatan motor penggerak baiknya diletakkan pada ruang terbuka. Pada Gambar 16 terlihat bahwa RJBA V.2015 langsung berada pada posisi melayang pada kedalaman 60 cm. Hal tersebut dikarenakan RJBA V.2015 dirancang untuk langsung melayang di kolom perairan. Robot dibantu oleh motor penggerak untuk dapat melakukan manuver secara vertikal dan horizontal

Sistem Kerja Manipulator RJBA V.2015

Pada pengembangan robot jelajah bawah air kali ini dilengkapi dengan manipulator atau tangan penjepit. Menurut [16], robot bawah air biasanya dilengkapi satu atau beberapa gripper/manipulator untuk dapat melakukan tugas-tugas di dalam air. Manipulator robot terbuat dari bahan dasar aluminium dengan ketebalan 5 mm. Pergerakan manipulator didukung dengan adanya 2 buah servo untuk bergerak secara horizontal dan vertikal. RJBA V.2015 dapat membuka dan menutup pencapit, manipulator menggunakan motor dc. Manipulator RJBA V.2015 dapat bergerak dengan bukaan maksimal 10 cm. Manipulator digerakkan dengan menggunakan keyboard pada laptop pada interface robot. Perintah yang dikirim dari interface akan diterima oleh Arduino Mega, kemudian Arduino Mega akan memberikan perintah kepada motor servo dan motor dc untuk bergerak sesuai perintah yang dikirimkan. Berdasarkan uji coba manipulator yang dibuat memiliki kemampuan maksimal mengangkat beban botol mineral 600 ml yang terisi penuh dengan daya cengkram yang baik dan lebar maksimal beban mencapai 8 cm. Manipulator pada RJBA V.2015 didesain sederhana. Menurut Christ dan Wernli [17] Ketika memilih manipulator, penting untuk memilih jenis yang mungkin paling sederhana yang dapat menyelesaikan tugas dalam waktu yang wajar. Gambar 17 menunjukkan pola pergerakan dari manipulator.



Gambar 17 pola pergerakan manipulator terhadap sumbu x (kiri) dan sumbu y (kanan)

Pola pergerakan pada sumbu x berkisar 0° sampai 180° dan pergerakan pada sumbu y berkisar 0° sampai 90° . Hal tersebut berarti *manipulator* mampu bergerak ke kanan dan kiri dengan sudut maksimal 180° dan bergerak mengangguk ke atas dan bawah dengan sudut maksimal 90° . Pergerakan dari manipulator sudah cukup baik karena sudah dapat bergerak terhadap sumbu X, Y dan Z. Menurut Haugen [16] bila tidak ada gaya kontrol yang diterapkan untuk model dinamis, model manipulator diharapkan untuk berperilaku seperti multi sendi, bergerak terhadap sumbu X, Y dan Z.

3 Kesimpulan

Robot Jelajah Bawah Air V. 2015 telah berhasil dibuat dan dilengkapi *manipulator*, sensor GY-87, lampu, motor penggerak, dan kamera CCTV untuk dapat melakukan tugas di bawah air. Robot ini dibuat dari bahan plat alumunium 5 mm, resin, dan *Polyurethane*. Robot ini dikendali melalui *interface* di permukaan, melakukan manuver dengan sangat baik dengan bantuan 4 motor penggerak berkekuatan 1060 kv. Manipulator RJBA V.2015 mampu mengangkat beban mencapai 600 gram dengan diameter maksimal benda 8 cm.

4 Daftar Pustaka

- [1] St. Suwardi, "Mengungkapkan Misteri Laut dalam bersama ROV," *KabarIndonesia*, 2008.
- [2] M.C. Fang, C.S. Hou, J.H. Luo, "On the motions of the underwater remotely operated vehicles with the umbilical cable effect," *Ocean Engineering*. 2006
- [3] A.J. Woods, J.D. Penrose, A.J. Duncan, R. Koch, D. Clarck, "Improving The Operability of

Remotely Operated Vehicles," *The APPEA Journal*, 1998.

- [4] Norwegian Technology Centre, "Remotely Operated Vehicle (ROV) services," NORSOK standard U-102. Oslo, Norway, 2003.
- [5] V. Rigaud, "Innovation and Operation with Robotized underwater Systems," *Journal of Field robotics*, 2007.
- [6] NOAA, "Remotely Operated Vehicle (ROV)", 2010.
- [7] E. Ahadyat, "Kontrol Manipulator Lengan Robot dengan Memperhitungkan Input Halangan," Bandung: Insitut Teknologi Bandung. 2008.
- [8] H. A. Kusuma, "Rancang Bangun Mini Remotely Operated Vehicle (ROV) Untuk Eksplorasi Bawah Air," Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2012.
- [9] N. A. A. Putra, "Pengembangan Robot Jelajah Bawah Air (RJBA V.2014) untuk Eksplorasi Bawah Laut," Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2014.
- [10] J. Newman, B. Robinson, "Development of a dedicated ROV for a dedicated ROV for ocean science," *MTS Journal*, 1992.
- [11] Atmel, "8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash," 2014.
- [12] M. Idris, "Rancang Bangun dan Uji Kinerja Water Temperature Data Logger," Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2014.
- [13] A. Olejnik, "Visual identification of underwater objects using a ROV-type vehicles: "Graf Zeppelin" wreck investigation," *Polish Maritime Research*, 2008.
- [14] R. D. Christ, L. W. Robert, "The ROV Manual : A User ide for Observation-Class Remotely Operated Vehicle," Elsevier Ltd. Oxford, 2007.
- [15] S. H. Ismail, "Perancangan Program Pemilihan Propeller Jenis Wageningen B Series Berbasis Efisiensi," Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2010.
- [16] M. Haugen, "Modeling and Control of ROV Manipulators," Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2012.
- [17] R. D. Christ, L. W. Robert, "The ROV Manual Second Edition: A User Guide for Remotely Operated Vehicle," Elsevier Ltd. Oxford, 2013.

Pemodelan dan Rancang Bangun Autonomous Underwater Vehicle dengan Enam Propeller

Muhammad Afif, Natsir Habibullah, Eko Mursito Budi, & Estiyanti Ekawati

Teknik Fisika

Institut Teknologi Bandung

muafif.afif@gmail.co

Abstrak

Perancangan pengontrol biasanya dilakukan terlebih dahulu pada model atau simulasi. Terkadang terdapat parameter-pamater model yang tidak diketahui dan sulit diidentifikasi sehingga menyebabkan model yang dibuat tidak sesuai dengan kenyataan. Akibatnya pengontrol yang dirancang pun tidak berfungsi dengan baik pada sistem nyata. Pada penelitian ini digunakan pendekatan eksperimen dan simulasi untuk merancang pengontrol pada *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV). Digunakan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) sebagai sistem navigasi untuk mengetahui pergerakan dan orientasi wahana. Parameter pemodelan diidentifikasi dengan menyocokkan respon simulasi dengan respon terukur dari sistem. Pengontrol AUV yang dirancang adalah pengontrol kecepatan, pengontrol posisi, dan pengontrol sudut orientasi AUV. Pengontrol yang digunakan menggunakan kontrol PID dengan metode penalaan Ziegler-Nichols. Pengontrol yang dirancang diterapkan pada sistem nyata dan simulasi. Hasil dari pengontrolan wahana dan simulasi ditampilkan dan dibahas. Perbandingan antara simulasi dan respon nyata menunjukkan keakuratan identifikasi parameter yang digunakan sebagai model sistem yang menunjukkan perlunya perbaikan.

Kata Kunci: pemodelan; autonomus underwater vehicle; identifikasi parameter; kontrol pid; ziegler-nichols; navigasi inersia.

1 Pendahuluan

Robot bawah air telah banyak dikembangkan dan digunakan dalam kehidupan manusia. Robot tersebut merupakan robot yang terhubung dan dikendalikan dari jarak jauh atau lebih dikenal dengan *remotely operated vehicle* (ROV). Penggunaan ROV saat ini masih terbatas karena tingginya harga operasional, kebutuhan operator, dan masalah keamanan. Teknologi robot bawah air berkembang menjadi robot yang otomatis secara penuh dan andal, umumnya disebut *autonomous underwater vehicle* (AUV). Sistem navigasi dan kontrol adalah dua tantangan utama dalam pengembangan AUV. Terdapat tiga metode navigasi utama yang digunakan untuk AUV, yaitu sistem navigasi inersial, navigasi akustik, dan teknik navigasi geofisika [1]. Informasi navigasi yang baik adalah kebutuhan utama pada pengoperasian AUV,

sehingga dibutuhkan sensor dan pengumpulan data yang akurat.

Tantangan besar selain navigasi pada AUV, yaitu sistem kontrol. Dinamika sebuah wahana bawah air sangat tidak linear, penuh dengan parameter yang tidak pasti, konstanta waktu yang bervariasi, semakin tinggi orde dengan bertambahnya penggerak, gangguan gelombang, dan berubah titik pusat massa dan titik pusat apung karena pergerakan robot [3]. AUV juga harus memiliki kemampuan untuk mengolah data navigasi, kemudian membuat keputusan tentang aksi kontrol yang harus dilakukan guna mencapai tujuan. Pada makalah ini akan dibahas bagaimana membuat sebuah wahana bawah air yang dapat bergerak secara otomatis. Agar robot dapat bergerak secara otomatis dibutuhkan sistem kontrol yang dirancang dari eksperimen dan simulasi. Dalam penelitian ini juga ingin diketahui bagaimana performa sistem kontrol wahana yang dihasilkan melalui eksperimen dan simulasi.

2 Permodelan

Permodelan secara umum dibagi menjadi tiga bagian, yaitu permodelan motor, gerak translasi, dan gerak angular.

Motor

Masukan tegangan motor diatur oleh motor driver berdasarkan *pulse width modulation* (PWM), sehingga baling-baling akan berputar. Putaran baling-baling akan menghasilkan gaya dan momen putar mengikuti persamaan (1) dan (2).

$$F_m = C_m \rho A r^2 \Omega_m |\Omega_m| \quad (1)$$

$$T = C_T A r^3 \Omega_m |\Omega_m| \quad (2)$$

Gerak Translasi

Gaya-gaya yang mempengaruhi motor akan menyebabkan percepatan translasi AUV, gaya-gaya tersebut adalah gaya motor, gaya gesek, gaya apung, dan berat AUV.

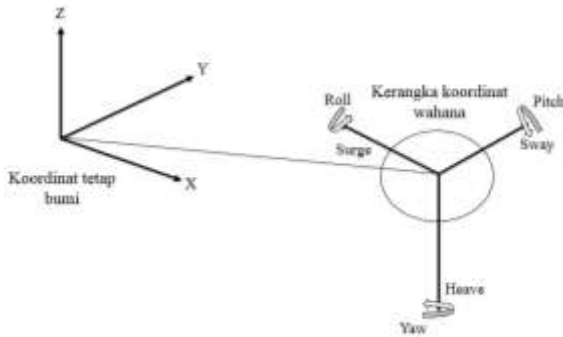
Gaya motor ditunjukkan pada persamaan (3).

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = R_m^T \begin{bmatrix} F_{m1} + F_{m2} \\ 0 \\ F_{m3} + F_{m4} + F_{m5} + F_{m6} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Matriks rotasi, R_m^T digunakan untuk mengubah kerangka kerja gaya motor dari kerangka koordinat wahana menjadi koordinat tetap bumi. Matriks rotasi ditunjukkan pada persamaan (4).

$$R_m^T = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & s\phi s\theta c\psi - c\phi s\psi & c\phi s\theta c\psi - s\phi s\psi \\ c\theta s\psi & s\phi s\theta s\psi - c\phi c\psi & c\phi s\theta s\psi - s\phi c\psi \\ -s\theta & s\phi s\theta & c\phi c\theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

Koordinat tetap bumi dan kerangka koordinat wahana ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 14 koordinat tetap bumi dan kerangka koordinat wahana

Secara ringkas gaya total ditunjukkan pada persamaan (5).

$$F_{nett} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} - \frac{1}{2} \begin{bmatrix} C_x A_c \rho \dot{x} |\dot{x}| \\ C_y A_c \rho \dot{y} |\dot{y}| \\ C_z A_c \rho \dot{z} |\dot{z}| \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \rho_f V g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ mg \end{bmatrix} \quad (5)$$

Sehingga percepatan yang dihasilkan ditunjukkan pada persamaan (6).

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \frac{F_{nett}}{m} \quad (6)$$

Gerak Rotasi

Momen gaya total dihasilkan dari empat momen gaya yang mempengaruhi AUV, yaitu momen yang ditimbulkan oleh gaya apung dan gaya berat, momen akibat gaya dorong motor, momen putar motor, dan hambatan torsi. Secara ringkas momen total ditunjukkan pada persamaan (7).

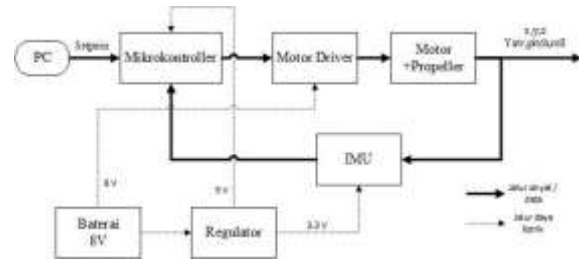
$$\tau_{nett} = \begin{bmatrix} -dF_a \sin(\phi) + (F_{m5} - F_{m6})c + (T_1 + T_2) - \frac{1}{2} C_\phi A_c \rho \dot{\phi} |\dot{\phi}| \\ -dF_a \sin(\theta) + (F_{m3} - F_{m4})b - \frac{1}{2} C_\theta A_c \rho \dot{\theta} |\dot{\theta}| \\ (-F_{m1} + F_{m2})a + (T_3 + T_4 + T_5 + T_6) - \frac{1}{2} C_\psi A_c \rho \dot{\psi} |\dot{\psi}| \end{bmatrix} \quad (7)$$

Momen tersebut akan menghasilkan percepatan sudut AUV mengikuti persamaan (8).

$$\begin{bmatrix} I_{xx} \ddot{\phi} \\ I_{yy} \ddot{\theta} \\ I_{zz} \ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I_{yy} - I_{zz}) \dot{\theta} \dot{\psi} \\ (I_{zz} - I_{xx}) \dot{\phi} \dot{\psi} \\ (I_{xx} - I_{yy}) \dot{\phi} \dot{\theta} \end{bmatrix} + \tau_{nett} \quad (8)$$

3 Desain Wahana

Elemen penting pada sistem robot bawah air terdiri dari empat komponen penting yaitu sumber daya berupa baterai Li-po dua sel, sensor unit pengukur inersia (IMU), aktuator berupa motor yang terhubung dengan baling-baling, serta pemroses berupa mikrokontroller arduino dan PC dengan perangkat lunak Matlab.



Gambar 15 arsitektur wahana

Sistem Sensor

Tidak seperti pada kendaraan darat yang memiliki teknologi GPS sebagai sistem navigasi, AUV yang beroperasi di bawah air tidak memiliki fasilitas tersebut [2]. Sensor yang digunakan adalah *Inertial Measurement Unit (IMU)*. *Inertial measurement unit (IMU)* adalah alat elektronik yang mengukur percepatan, kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi dengan menggabungkan sensor akselerometer dan giroskop. Akselerometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur percepatan translasi. Akselerometer akan selalu membaca percepatan gravitasi yang bekerja pada sumbunya. Dalam aplikasi navigasi untuk mendapatkan kecepatan dan posisi wahana, percepatan gravitasi tersebut harus dikompensasi terlebih dahulu. Percepatan gravitasi yang dialami oleh wahana dapat ditentukan dengan persamaan (9).

$$\begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta \\ -\cos\theta\sin\phi \\ -\cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \quad (9)$$

Percepatan pada tiap sumbu wahana diperoleh setelah mengompensasi gravitasi.

$$a_x = a_{accx} - g_x \quad (10)$$

$$a_y = a_{accy} - g_y \quad (11)$$

$$a_z = a_{accz} - g_z \quad (12)$$

Percepatan a_x , a_y , dan a_z masih berupa unit g dan masih mengarah pada sumbu wahana. Untuk mendapatkan percepatan pada koordinat global matriks tersebut perlu ditransformasi menggunakan persamaan rotasi (4). Kecepatan translasi dan posisi wahana dapat ditentukan dari nilai percepatan dengan melakukan integral.

Giroskop merupakan sensor yang membaca kecepatan sudut. Untuk mendapatkan orientasi kemiringan wahana digunakan quaternion. Quaternion adalah bilangan kompleks empat dimensi yang digunakan untuk merepresentasikan orientasi sebuah benda tegar pada ruang tiga dimensi. Quaternion berpropagasi seiring dengan berubahnya orientasi sensor, laju perubahan quaternion ditunjukkan oleh persamaan (13) [5].

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} = 0.5 \begin{bmatrix} q_1 & -q_2 & -q_3 & -q_4 \\ q_2 & q_1 & -q_4 & q_3 \\ q_3 & q_4 & q_1 & -q_2 \\ q_4 & -q_3 & q_2 & q_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (13)$$

Nilai quaternion tiap waktu dapat dijadikan orientasi wahana dalam vektor arah gravitasi dengan persamaan (14)-(16).

$$g_x = 2(q_2q_4 - q_1q_3) \quad (14)$$

$$g_y = 2(q_1q_2 + q_3q_4) \quad (15)$$

$$g_z = q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 + q_4^2 \quad (16)$$

Vektor arah gravitasi tersebut dapat diubah menjadi sudut orientasi wahana dalam *yaw*, *pitch*, *roll* dengan persamaan (17)-(19) [4].

$$\phi(roll) = \arctan\left(\frac{g_y}{\sqrt{g_x^2 + g_z^2}}\right) \quad (17)$$

$$\theta(pitch) = \arctan\left(\frac{g_x}{\sqrt{g_y^2 + g_z^2}}\right) \quad (18)$$

$$\psi(yaw) = \arctan2\left(\frac{2(q_2q_3 - q_1q_4)}{2(q_1^2 - q_2^2) + 2(q_3^2 - q_4^2) - 1}\right) \quad (19)$$

Sistem Propulsi

Sistem penggerak wahana yang digunakan adalah baling-baling yang dihubungkan dengan motor DC. Peletakan motor dan baling-baling didasarkan pada tujuan desain AUV untuk mampu bergerak dengan enam derajat kebebasan yaitu surge, sway, heave, roll, pitch, and yaw. Hasil desain yang akhirnya dibuat menggunakan enam motor dengan konfigurasi pada gambar 2



Gambar 16 penempatan propulsi motor

Identifikasi Parameter

Identifikasi dilakukan dengan tiga cara, yaitu menggunakan nilai-nilai yang sudah umum digunakan atau sudah ada, melakukan pengukuran, dan menentukan nilai berdasarkan respon yang dihasilkan oleh simulasi.

Parameter yang nilainya sudah umum digunakan atau sudah ada ditunjukkan pada tabel 4-1.

Tabel 1 Nilai identifikasi parameter umum atau sudah ada

No	Parameter (simbol)	Nilai (satuan)
1	Gravitasi (g)	9.81 (m/s ²)
2	Massa jenis air (rho)	1000 (kg/m ³)
3	PWM maksimum (PWMmaks)	255 (-)
4	Konstanta EMF (K _{emf})	0.0121 (Volt.s/rad)
5	Koefisien torsi motor (K _{tm})	0.0046 (Nm/A)
6	Inersia motor (Jm)	4.10 ⁻⁷ (Nm.s ² /rad)

Parameter yang nilainya ditentukan berdasarkan hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 4-2.

Tabel 2 Nilai identifikasi parameter hasil pengukuran

No	Parameter (simbol)	Nilai (satuan)
1	Tegangan maksimum (Vmaks)	8 (Volt)
2	Hambatan dalam (Rm)	25 (Ohm)
3	Luas permukaan (Ac)	0.0504 (m ²)
4	Massa (m)	0.67 (kg)
5	Volume (V)	680 (mL)
6	Inersia pada sumbu x (Ixx)	0.00076 (kg.m ²)
7	Inersia pada sumbu y (Iyy)	0.00105 (kg.m ²)
8	Inersia pada sumbu z (Izz)	0.00136 (kg.m ²)
9	Jarak (d)	2 (cm)
10	Jarak (c)	6 (cm)
11	Jarak (b)	7 (cm)
12	Jarak (a)	7 (cm)

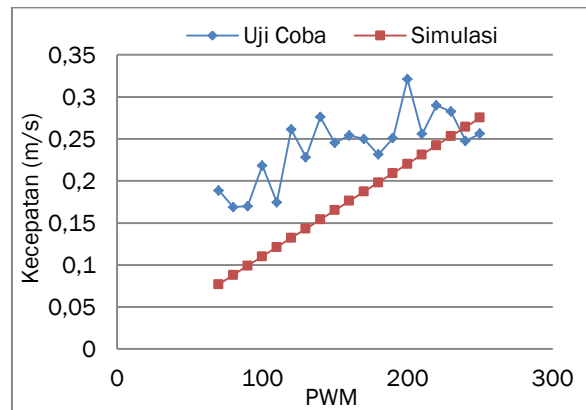
Parameter yang nilainya ditentukan berdasarkan respon oleh simulasi ditunjukkan pada tabel 4-3.

Tabel 3 Nilai identifikasi parameter hasil respon simulasi

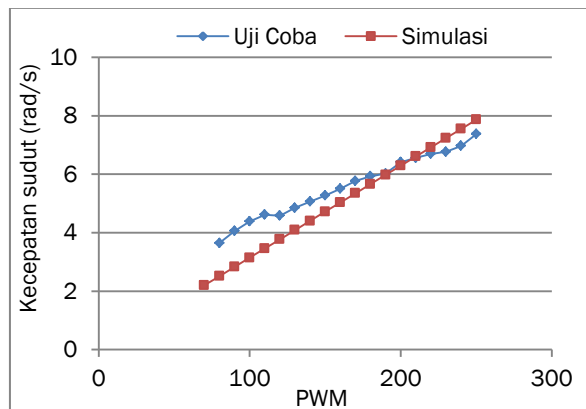
No	Parameter (simbol)	Nilai (satuan)
1	Koefisien gaya motor (Cm)	0.005 (-)
2	Koefisien gaya gesek (Cx)	0.35 (-)
3	Koefisien gaya gesek (Cy)	0.35 (-)
4	Koefisien gaya gesek (Cz)	0.55 (-)
5	Koefisien gesek putar (Cyaw)	0.00003 (m)

6	Koefisien gesek putar (Croll)	0.00007 (m)
7	Koefisien gesek putar (Cpitch)	0.0001 (m)

Perbandingan hasil uji coba dengan simulasi menggunakan parameter pada tabel 4-3 dapat dilihat pada gambar 3 dan 4.



Gambar 17 kecepatan AUV hasil uji coba dan simulasi



Gambar 18 kecepatan sudut AUV hasil uji coba dan simulasi

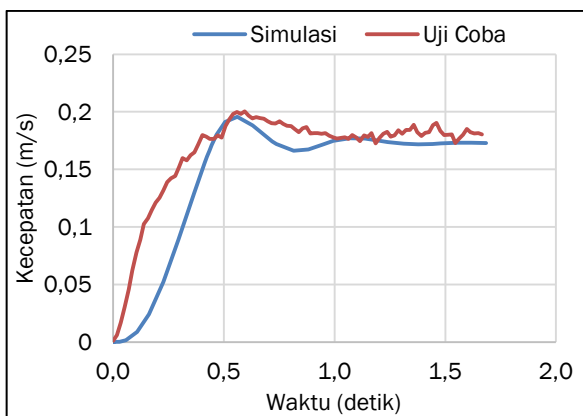
Nilai koefisien gaya motor dan gaya gesek ditentukan sehingga pada pemberian input maksimum 250 PWM kecepatan AUV pada simulasi mendekati kecepatan AUV hasil uji coba ditunjukkan pada gambar 3. Pengubahan nilai kedua konstanta ini akan mengakibatkan pergeseran signifikan terhadap kecepatan AUV pada simulasi. Nilai koefisien gesek putar ditentukan sehingga pada pemberian input yang membuat AUV bergerak secara pivot kecepatansudut yang dihasilkan simulasi mendekati hasil uji coba ditunjukkan pada gambar 4.

4 Perancangan dan Pengujian Pengontrol

Diinginkan tiga pengontrolan yang dapat dilakukan oleh AUV yaitu pengontrol kecepatan, pengontrol

posisi, dan pengontrol sudut geleng (yaw). Pengontrol yang dirancang adalah pengontrol PID dan metode yang digunakan dalam perancangan pengontrol yaitu metode Ziegler-Nichols [6].

Kecepatan memiliki respon input step yang berbentuk-S, maka parameter pengontrol untuk kecepatan menggunakan metode pertama Ziegler-Nichols. Input step diberikan pada wahana dan diamati respon kecepatan yang dialami wahana, dari respon tersebut ditentukan nilai T dan L untuk nilai input step 70-250 pwm. Dengan mengambil rata-rata dari nilai T dan L yang diperoleh dari percobaan input step, didapatkan parameter pengontrol PI untuk kecepatan yaitu K_p 4900 dan T_i 1.25. Parameter pengontrol tersebut diaplikasikan pada model simulasi dan wahana yang telah dibuat dan dilihat hasilnya. Hasil dari pengujian pada wahana dan simulasi dapat dilihat pada gambar 6 dan 7. Dari hasil respon yang diperoleh dapat dilihat bahwa kecepatan berhasil dikontrol baik dari sistem nyata maupun simulasi.

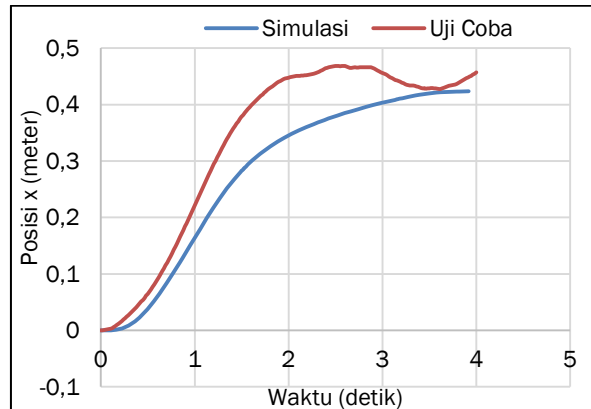


Gambar 19 kecepatan AUV dengan pengontrol PI dengan setpoint 0.17

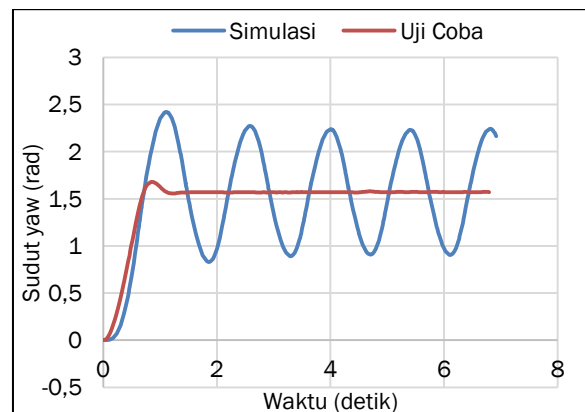
Respon input step untuk Posisi dan sudut yaw tidak memiliki bentuk-S seperti pada respon input step kecepatan, sehingga metode pertama ziegler-nichols tidak dapat digunakan pada perancangan pengontrol posisi dan sudut yaw. Metode kedua Ziegler-Nichols dapat digunakan untuk merancang pengontrol posisi dan sudut yaw, namun terdapat kesulitan dalam menentukan gain kritis K_{cr} pada metode kedua tersebut. Hal tersebut dikarenakan terbatasnya range input yang dapat diberikan kepada wahana yaitu hanya 0-255 pwm. Nilai gain kritis tidak dapat ditemukan karena nilai gain yang berpengaruh terhadap input pwm juga menjadi terbatas. Perancangan pengontrol untuk posisi dan sudut yaw akhirnya dilakukan secara coba-coba dengan memperkirakan nilai error dan juga mempertimbangkan nilai maksimum pwm.

Nilai parameter pengontrol untuk kontrol posisi yaitu K_p 2500 dan T_d 0.5. Hasil pengujian kontrol posisi

dengan setpoint 0.4 meter untuk wahana dan simulasi dapat dilihat pada gambar 7. Nilai parameter untuk pengontrol sudut yaw yaitu K_p 1000 dan T_d 0.1. Hasil pengujian pengontrol dapat dilihat pada gambar 8. Pengontrol posisi berhasil pada sistem nyata dan simulasi meskipun masih belum efektif. Pengontrol sudut hanya berhasil pada sistem nyata, sedangkan pada simulasi sistem berosilasi jauh dari setpoint.



Gambar 20 posisi sumbu-x AUV dengan pengontrol PID



Gambar 21 sudut yaw AUV dengan pengontrol PI setpoint 1.57 rad / 90 derajat

Pengujian yang dilakukan pada wahana dan simulasi memberikan hasil pengendalian yang cukup mirip pada pengendalian kecepatan dan pengendalian posisi yang merupakan gerak translasi. Sedangkan pada pengendalian sudut atau gerak rotasi, hasil pengendalian wahana memberikan hasil yang berbeda dibandingkan dengan pengendalian pada simulasi. Kesamaan dan perbedaan antara pengujian wahana dan simulasi mengindikasikan bahwa model yang digunakan untuk simulasi cukup menyerupai sistem nyata untuk gerak translasi, tetapi masih kurang akurat untuk gerak rotasi.

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa respon kecepatan sudut dari input step yang dicapai wahana dan simulasi sudah mendekati, tetapi hal tersebut belum cukup untuk memastikan parameter pemodelan yang

didapat sudah mendekati sistem nyata. Pemodelan gaya hambat untuk gerak rotasi masih perlu diperbaiki dan juga memerhatikan kemiripan waktu konstan dari respon input step karena model yang sekarang memiliki perbedaan dalam waktu konstan. Waktu konstan hasil simulasi lebih cepat daripada sistem nyata, hal ini menyebabkan pengontrolan sudut pada simulasi lebih berhasil daripada ujicoba.

5 Kesimpulan

Pemodelan dilakukan dengan memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja pada sistem serta interaksinya dengan sistem dan lingkungan di sekitar sistem. Parameter yang tidak diketahui dari sistem ditentukan dengan cara menyesuaikan respon simulasi dan respon terukur dari wahana. Parameter pemodelan yang diperoleh ditampilkan pada tabel 1 – tabel 3.

Wahana AUV diberi sensor IMU sebagai sistem navigasinya yang terdiri dari akselerometer dan giroskop dengan sistem penggerak menggunakan enam baling-baling.

Pengontrol kecepatan didesain menggunakan metode Ziegler-Nichols sehingga didapatkan K_p 4900 dan T_i 1.25. Pengontrol tersebut berhasil diujikan pada wahana maupun simulasi dan menghasilkan respon yang baik. Pengontrol posisi dan sudut yaw tidak bisa didesain menggunakan metode Ziegler-Nichols karena

keterbatasan rentang input pwm. Dari hasil eksperimen didapatkan parameter pengontrol posisi yaitu K_p 3000, T_i 3, dan T_d 0.5.

Pengujian kontrol simulasi dan respon sebenarnya memiliki kemiripan pada gerak translasi, tetapi tidak pada gerak rotasi.

6 Daftar Pustaka

- [1] J. J. Leonard, A. A. Bennett, C. M. Smith and H. J. S. Feder, "Autonomous Underwater Vehicle Navigation," *IEEE ICRA Workshop on Navigation of Outdoor Autonomous Vehicles*, 1998.
- [2] S. B. Williams, N. Paul, R. Julio, D. Gamini and H. Durrant-Whyte, "Autonomous underwater navigation and control.," *Robotica* 19.05, pp. 481-496, 2001.
- [3] J. Yuh, "Design and Control of Autonomous Underwater Robots: A Survey," *Autonomous Robots* 8.1, p. 7–24, 2000.
- [4] S. O. Madgwick, "An Efficient Orientation Filter for Inertial and Inertial/Magnetic Sensor Arrays," 2010..
- [5] D. H. Titterton dan J. L. Weston, Strapdown Inertial Navigation Technology -2nd Edition, Herts: The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [6] Ogata, Katsuhiko. 2002. Modern Control Engineering, Fourth Edition. Prentice-Hall, Inc. United States of America

Perancangan dan Kontrol Mode Operasi Tata Udara Ruang Bedah

Setu Kurnianto Putra*), Esther Kezia Simanjuntak, Wisnu Hendradjit**) & Sutanto Hadisupadmo

Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
setu_kp@students.itb.ac.id*)

wisnu131@tf.itb.ac.id**)

Abstrak

Tata udara Ruang Bedah (RB) bekerja pada tiga mode: sanitasi, persiapan, dan operasi. Proses psikrometrik RB dirancang untuk menghasilkan kondisi termal dalam rentang suhu 21 – 28 °C, kelembaban nisbi 55 – 65%, dengan tekanan udara positif 15 Pa relatif terhadap ruangan di sekitarnya. Sistem tata udara meliputi komponen koil pendingin berkapasitas 54 kW, koil penghangat elektrik berkapasitas 12 kW, dan kipas catu untuk laju pergantian udara 25 ACH. Tekanan udara RB diatur oleh mekanisme kerja *dampers* dan kipas pembuangan udara. Bukaan *dampers* dikontrol selaras dengan laju putaran kipas udara dan mode kerja RB. Sistem refrigerasi bekerja berdasarkan kondisi termal di dalam RB dan mode kerja yang sedang berlangsung. Suhu udara catu ke RB memicu kerja pemanas elektrik. Kinerja kompresor dibatasi oleh tekanan kerja refrigeran dalam siklus refrigerasi. Suatu *interlock* menyelaraskan kontrol kondisi termal RB dengan status bukaan pintu RB serta *dampers* udara untuk menjaga agar tekanan tetap positif.

Perubahan kondisi udara di dalam RB tipikal ini telah disimulasikan untuk meninjau respon transiennya. Simulasi respon transien suhu, nisbah kelembaban, dan kelembaban nisbi udara RB berlangsung pada rentang waktu 250 – 650 dtk, sedangkan transien tekanan udara 28 dtk.

Kata Kunci: tata udara RB, proses psikrometrik, mode operasi, sistem kontrol, simulasi kerja

1 Pendahuluan

Latar belakang

Sistem pengondisian udara pada ruang bedah (RB) tidak hanya diperlukan untuk memenuhi faktor kenyamanan termal bagi pengguna ruangan, namun juga untuk memenuhi mutu udara ruangan. Mutu udara mencakup tingkat kebersihan, kesegaran, serta kesehatan udara. Pengondisian udara pada RB harus mampu menciptakan lingkungan yang nyaman, bersih, dan sehat, baik untuk tenaga medis maupun pasien. Udara pada RB memerlukan penataan pada beberapa aspek, yaitu suhu, kelembaban, pola aliran, dan tekanan. Selain itu, kandungan kontaminan dan laju generasi partikel di udara juga perlu diperhatikan untuk memenuhi aspek kebersihan udara. Penataan parameter-parameter pengondisian udara tersebut perlu disesuaikan dengan merujuk pada standar atau regulasi yang telah ditetapkan. Di Indonesia, rujukan yang dapat

dijadikan acuan dalam perancangan sistem pengondisian udara RB, yaitu Pedoman Teknis Ruang Operasi Rumah Sakit yang dirilis oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia pada sub-bab C ayat 1 dan sub-bab D ayat 1.

Agar pengondisian udara tersebut dapat tercapai, tidak hanya diperlukan nilai-nilai parameter kondisi udara yang sudah sesuai dengan standar, tetapi juga diperlukan sistem kontrol agar kondisi udara tersebut dapat terjaga selama proses pengondisian udara berlangsung. Pada sistem tersebut, terdapat pengontrol yang menerima sinyal masukan berupa nilai aktual yang terjadi pada saat tertentu. Nilai aktual tersebut akan disesuaikan dengan nilai yang sudah ditentukan, yaitu *set-point*. Pengontrol menghasilkan sinyal keluaran yang dikirim ke aktuator untuk melakukan suatu aksi tertentu sehingga tercapai kondisi udara yang diinginkan. Pada umumnya, komponen yang dikontrol pada sistem tata udara antara lain kipas, kompresor, katup refrigeran, pemanas elektrik, dan *dampers*. Pengontrolan pada komponen-komponen tersebut akan berdampak langsung pada perubahan parameter kenyamanan termal dan mutu udara yang ada.

Tujuan

Karena pentingnya menjaga kondisi udara pada RB, maka dilakukan perancangan sistem tata udara dengan menentukan proses dan spesifikasi komponen yang digunakan untuk mengondisikan udara. Juga dirancang sistem kontrol komponen pengondisi udara, agar kondisi udara terancang dapat tercapai. Waktu transien dari perubahan nilai suhu, tingkat kelembaban, dan tekanan udara disimulasikan.

2 Rujukan Dasar

Prasyarat kondisi udara RB

Ruang bersih adalah ruangan yang dirancang secara khusus dan memiliki sistem pengontrolan suhu, kelembaban, tekanan udara, profil aliran udara, dan kualitas udara [1]. Ruangan yang termasuk dalam ruang bersih adalah ruang bedah (RB), ruangan produksi obat-obatan, serta ruangan perakitan semikonduktor. RB dikelompokkan ke dalam tiga jenis, yaitu RB kelas A (operasi minor),

kelas B (operasi mayor ringan), dan kelas C (operasi mayor). Khusus untuk kelas C, RB harus diperlakukan sebagai ruang bersih dengan menggunakan standar kondisi udara yang ditunjukkan pada **Tabel 1** yang merujuk pada [2].

Tabel 1 Parameter kondisi udara RB kelas C

Parameter	Kondisi yang Disarankan
Suhu bola kering	19-24 °C
Kelembaban nisbi	45-60 %
ACH (<i>air change per hour</i>) minimum	25
Profil aliran udara meninggalkan muka <i>diffuser</i>	Laminar <i>unidirectional</i>
Tekanan udara dibanding ruang sekitarnya	Positif

Proses Psikrometrik

Pengondisian udara pada RB dapat tercapai apabila menggunakan komponen-komponen pengondisi udara yang memiliki spesifikasi sesuai dengan kebutuhan untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Kebutuhan RB akan udara segar yang tinggi menyebabkan perlunya rancangan khusus sistem tata udara RB, untuk mengatasi tingginya tingkat kelembaban udara lingkungan iklim tropik-hangat-lembab seperti umumnya di Indonesia. Pemahaman parameter termal udara melalui kajian psikrometrik digunakan untuk menentukan proses pengondisian udara yang dibutuhkan, sehingga spesifikasi komponen pengondisi udara dapat ditentukan. Pada karta psikrometrik, dapat ditentukan alur proses pengondisian udara sampai masuk ke dalam ruangan yang dikondisikan, dengan melakukan pertimbangan terhadap pembangkitan termal dan kandungan air di dalam ruangan tersebut. Pada karta psikrometrik terdapat protaktor yang menunjukkan kemiringan garis RSHF (*Room Sensible Heat Factor*), yang merupakan perbandingan antara beban kalor sensibel dan gabungan beban kalor sensibel dan beban kalor laten, akibat pembangkitan energi termal di dalam ruangan yang dikondisikan [3].

3 Rancangan Pengondisian Udara pada RB

Proses pengondisian udara pada RB

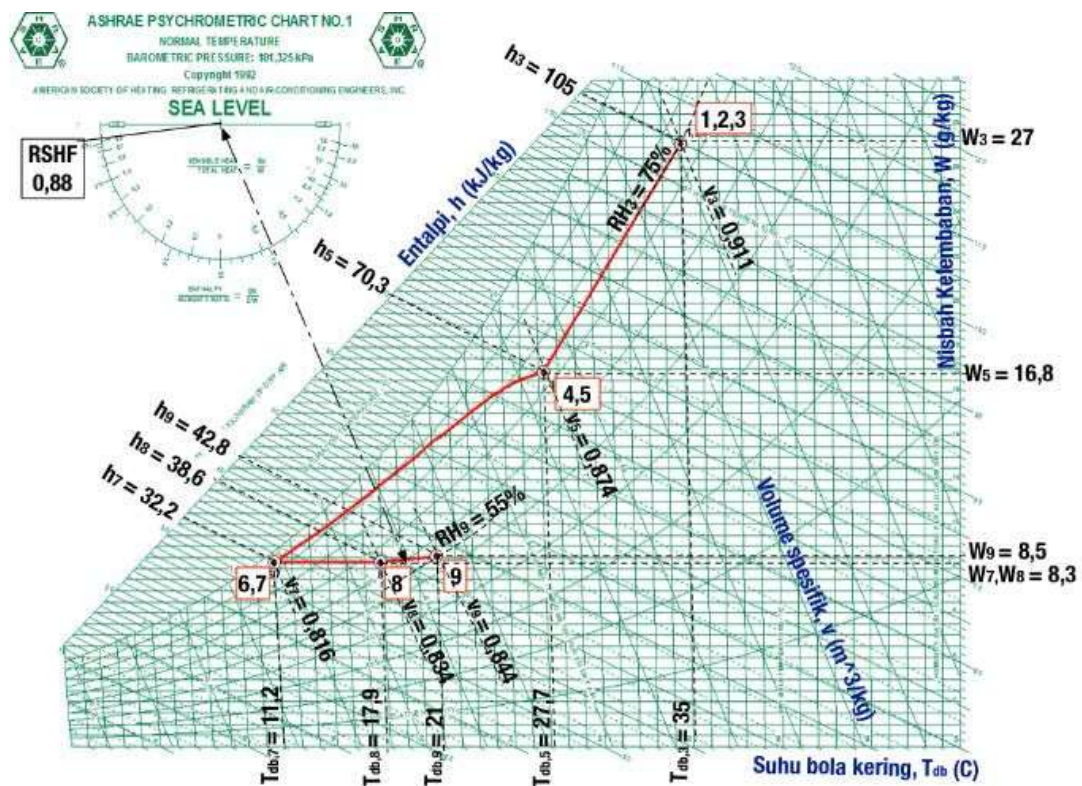
Proses pengondisian udara pada RB yang dirancang pada karta psikrometrik ditunjukkan pada **Gambar 1**. Agar udara masukan RB dapat dikondisikan, dirancang sistem tata udara RB yang

ditunjukkan pada **Gambar 2**. RB memiliki beban termal sensibel sebesar 4 kW dan beban laten

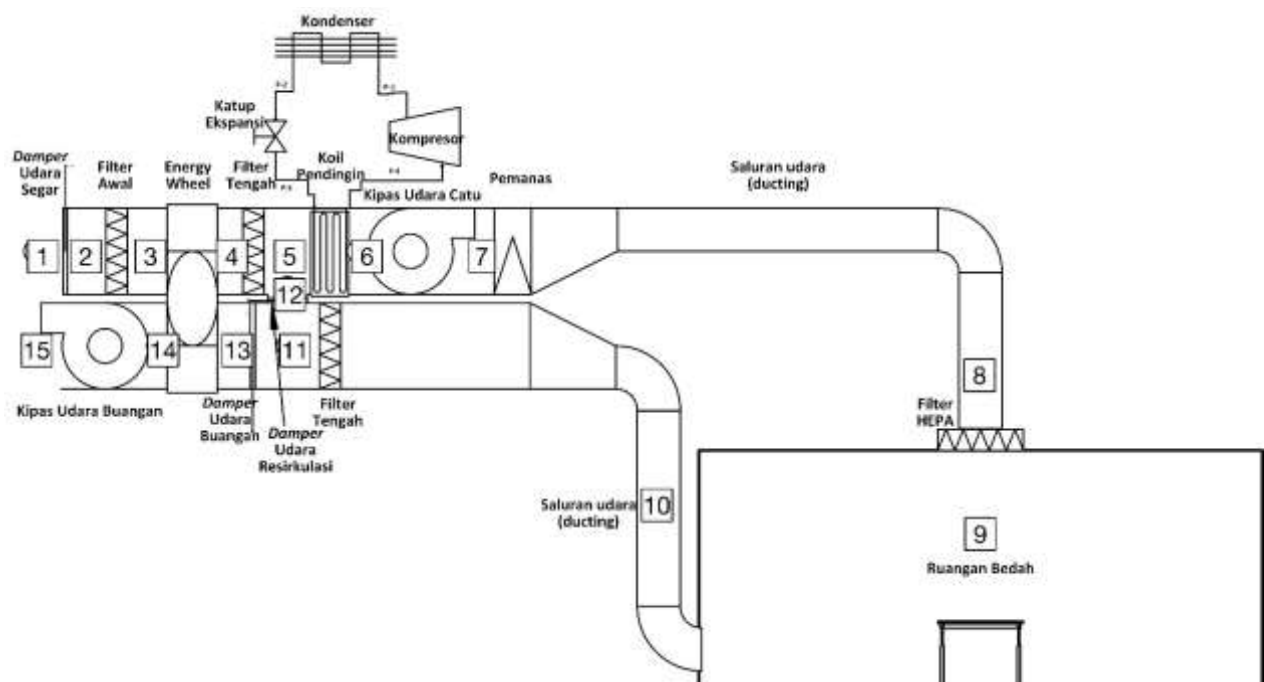
515 Watt [4]. Udara segar pada nomor 1 melewati *dampers* udara segar dengan bukaan tertentu dan penapis awal, sehingga kualitas udara menjadi lebih bersih. Selanjutnya, udara melewati *enthalpy wheel* sehingga suhu udara dan nisbah kelembaban udara menurun (titik 4) akibat adanya pertukaran kalor dengan udara buangan yang melewati unit *enthalpy wheel* melalui saluran udara buangan. Setelah melewati *enthalpy wheel*, udara kemudian melewati penapis tengah (titik 5), dan didinginkan oleh unit refrigerasi DX sehingga suhu udara menurun. Agar nisbah kelembaban udara dapat menurun, maka pendinginan sensibel dilakukan terus menerus sehingga suhu udara menjadi lebih rendah dari suhu titik-embunnya. Akibatnya massa air dalam udara tersebut akan berkurang karena proses kondensasi. Udara kemudian dialirkan melewati kipas udara catu dan pemanas elektrik. Suhu udara setelah melewati unit pendingin menjadi terlalu rendah akibat adanya proses kondensasi, sehingga perlu dihangatkan secara sensibel menggunakan pemanas elektrik, agar suhu udara mencapai kondisi rancangan udara catu. Udara catu itu kemudian mengalir ke RB, sedangkan udara dari RB dikeluarkan melalui saluran udara buangan. Udara buangan ditapis menggunakan penapis tengah, lalu melewati *dampers* udara buangan. Setelah melewati *dampers*, udara buangan yang masih bersuhu lebih rendah dari suhu lingkungan kemudian dialirkan melewati unit *enthalpy wheel*, agar terjadi pertukaran kalor dengan udara segar. Suhu udara buangan akan meningkat dan dialirkan keluar menggunakan kipas pembuangan udara. Perubahan kondisi udara akibat kerja komponen pengondisi udara ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Kondisi udara pada komponen tata udara

Properti udara	Kondisi udara				
	Luar	<i>Enthalpy wheel</i>	Evaporator DX	Catu	Dalam ruangan
T_{db} (°C)	35	27.27	10.76	17.77	21
T_{wb} (°C)	31	23.52	10.67	13.92	15.26
RH (%)	75	74	99	65	55
$W(g_{air}/kg_{udara})$	104.59	16.8	8.28	8.28	42.75
h (kJ/kg)	27	70.3	31.71	38.87	8.5
s (m ³ /kg)	0.92	0.87	0.82	0.84	0.844
T_{dp} (°C)	29.88	21.58	10.76	10.67	11.66
ACH					25
Aliran udara					Laminar <i>unidirectional</i>
P_{room} (Pa)					+15



Gambar 1 proses pengondisian udara pada RB [5]



Gambar 2 sistem tata udara pada RB [5]

Kebutuhan kondisi udara RB pada setiap aktivitas di dalamnya

Sistem tata udara RB tidak hanya diperlukan ketika ruangan tersebut digunakan untuk kegiatan pembedahan, tetapi juga pada saat sebelum dan setelah pembedahan berlangsung. Pada rujukan [5], telah ditentukan kondisi udara pada RB pada setiap kegiatan yang terjadi di dalamnya, sebagai acuan dasar dari sistem kontrol yang dirancang. Kondisi udara tersebut ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Kebutuhan kondisi udara pada tiap aktivitas dalam RB [5]

Kondisi termal		Aktivitas		
		Persiapan	Operasi	Sanitasi
Udara catu	$T_{db} (^{\circ}\text{C})$	23.5	17.9	27.5
	$T_{wb} (^{\circ}\text{C})$	17.25	13.23	22.52
	RH (%)	60.48	65.44	68.83
	$W (\text{gair/kg udara})$	10.24	8.28	15.42
	$h (\text{kJ/kg})$	49	38.6	63
	$s (\text{m}^3/\text{kg})$	0,854	0,834	0,871
	$T_{dp} (^{\circ}\text{C})$	14.4	11.2	19.4
Udara dalam ruangan	$T_{db} (^{\circ}\text{C})$	24	21	28
	$T_{wb} (^{\circ}\text{C})$	17.78	15.26	22.83
	RH (%)	55	55	65
	$W (\text{gair/kg udara})$	10.2	8.5	15.5
	$h (\text{kJ/kg})$	50.21	42.75	67.64
	$s (\text{m}^3/\text{kg})$	0,8553	0,844	0,874
	$T_{dp} (^{\circ}\text{C})$	14.44	11.66	20.82

4 Rancangan Sistem Kontrol Tata Udara RB

Mode pengoperasian sistem tata udara

Telah dirancang tiga mode pengoperasian sistem tata udara berdasarkan acuan dasar rancangan, yang telah dijelaskan terdahulu, yaitu mode persiapan, mode operasi, dan mode sanitasi. Mode-mode tersebut mengalami peralihan (transisi) secara berurutan seperti terlihat pada **Gambar 3**, kecuali pada saat terjadi perbaikan atau perawatan. Pada saat sistem mengalami perbaikan atau perawatan, kerja sistem harus dihentikan, serta berlaku beberapa kondisi tertentu sebagai proteksi bagi RB. Agar kondisi termal udara yang tertera pada **Tabel 3** dapat tercapai, maka dirancang kondisi kerja komponen-komponen tata udara seperti ditunjukkan oleh **Tabel 4**.



Gambar 3 peralihan mode pengoperasian sistem tata udara RB [5]

Tabel 4 Kondisi kerja komponen pada tiap mode pengoperasian sistem [5]

Kondisi kerja	Mode		
	Persiapan	Operasi	Sanitasi
Damper udara segar	Buka 32,5%	Buka 100%	Buka 32,5%
Damper udara resirkulasi	Buka 100%	Tutup	Buka 100%
Damper udara buangan	Buka 27,5%	Buka 100%	Buka 27,5%
Kipas udara catu	Cepat		
Kipas udara buangan	Lambat	Cepat	Lambat
Jumlah kompresor aktif	1	2	1
Tekanan udara	20 Pa	20 Pa	20 Pa
Kapasitas pendinginan	21 kW	48 kW	25 kW
Kapasitas pemanasan	12 kW	8 kW	10,3 kW
Laju aliran massa udara	1,15 kg/s	1,24 kg/s	1,2 kg/s

Analisis respon kondisi udara pada RB

Respon perubahan nilai suhu, kelembaban, dan tekanan udara dalam RB ditinjau dengan cara simulasi model sistem pada relasi matematikal (1), (2), (3), dan (4). Simulasi dilaksanakan menggunakan Matlab dengan fitur Simulink.

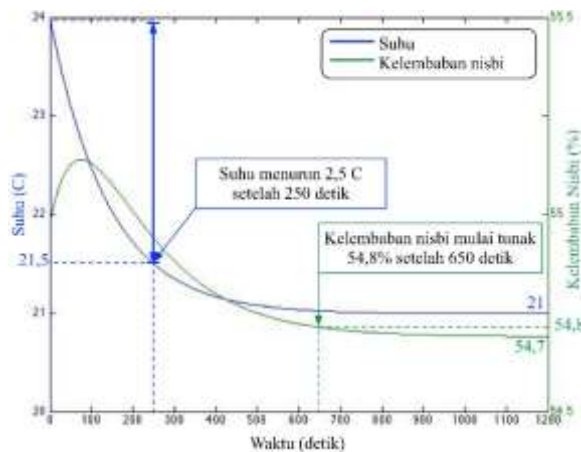
$$\rho_a V_{room} c_p \frac{dT_{room}}{dt} = \dot{V}_{sa} \rho_a c_p T_{sa} - \dot{V}_{ex} \rho_a c_p T_{room} + 4U_{wall} A_{wall} (T_{wall} - T_{room}) + U_{ceil} A_{ceil} (T_{ceil} - T_{room}) + U_{flr} A_{flr} (T_{flr} - T_{room}) + \dot{Q}_{load, sens} \quad (1)$$

$$\rho_a V_{room} \frac{dW_{room}}{dt} = \dot{V}_{sa} \rho_a W_{sa} - \dot{V}_{ex} \rho_a W_{room} + \dot{W}_{load} \quad (2)$$

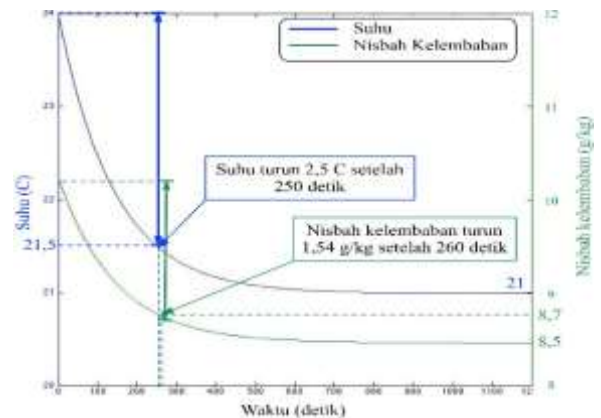
$$CP_{room} \frac{dP_{room}}{dt} = \dot{m}_{sa} - \dot{m}_{door} - \dot{m}_{ex} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{door} = \frac{P_{room} - P_{adj}}{Z_{door}} \quad (4)$$

Ketika RB akan digunakan untuk kegiatan operasi, maka mode operasi diaktifkan. Mode operasi diaktifkan setelah mode persiapan, sehingga kondisi termal udara awal sama dengan kondisi mode persiapan, yaitu suhu bola kering 24 °C, kelembaban nisbi 55 %, dan nisbah kelembaban 10,2 g_{air}/kg_{ud}. RB kemudian dicatu dengan udara yang bersuhu 17,8 °C dan memiliki nisbah kelembaban 8,3 g_{air}/kg_{ud}. Pada simulasi ditunjukkan bahwa respon suhu udara dalam ruangan menurun 2,5°C setelah 250 detik menjadi 21,5 °C. Nisbah kelembaban udara menurun 1,54 g_{air}/kg_{ud} setelah 260 detik menjadi 8,7 g_{air}/kg_{ud}. Dibutuhkan waktu selama 650 detik agar nilai kelembaban nisbi dalam ruangan tunak di nilai 54,8 %. Kondisi termal akhir di ruangan adalah: suhu 21 °C, kelembaban nisbi 54,7%, dan nisbah kelembaban 8,5 g_{air}/kg_{udara} untuk nisbah kelembaban. *Working Party of Hospital Infection Society* merekomendasikan waktu siap pakai RB dari saat pertama kali diaktifkan adalah 15 mnt (900 dtk). Berdasarkan hasil simulasi, kondisi itu dapat tercapai dan terpenuhi di dalam rentang waktu yang dirokemendasikan. **Gambar 4** menunjukkan respon transien dari suhu dan kelembaban nisbi udara ruangan pada saat mode operasi, sedangkan **Gambar 5** menunjukkan respon transien dari suhu dan nisbah kelembaban.

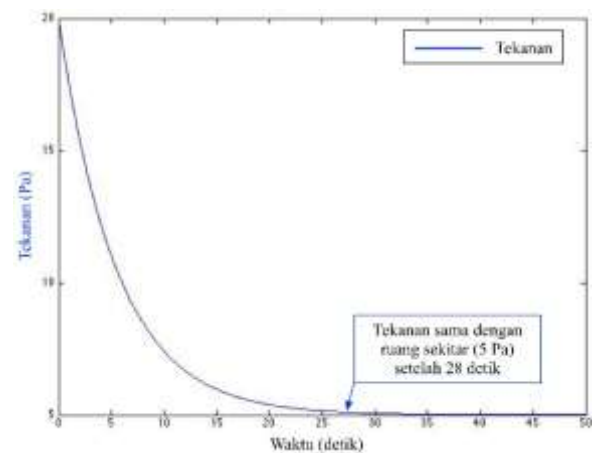


Gambar 4 respon suhu dan kelembaban nisbi RB pada mode operasi [5]



Gambar 5 respon suhu dan nisbah kelembaban RB pada mode operasi [5]

RB dianggap telah memiliki tekanan positif, 15 Pa lebih tinggi dari tekanan di ruangan sekitarnya, di mana ruangan yang bersebelahan dengan RB dianggap bertekanan konstan 5 Pa. Laju massa udara satu yang dialirkan ke dalam ruangan melalui saluran udara masukan dianggap sama dengan laju massa udara yang meninggalkan ruangan melalui saluran buangan sehingga perubahan tekanan RB hanya dipengaruhi udara yang keluar melalui celah pintu. Nilai tahanan pintu yang digunakan merujuk pada rancangan pintu oleh Juniardi dan Pramadhani [4], yaitu 97,65 Pa.dtk/kg. Melalui simulasi diperoleh bahwa RB perlu waktu 28 dtk untuk menurunkan tekanan udaranya menjadi 5 Pa dari 20 Pa seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 6**.



Gambar 6 respon tekanan dalam RB [5]

5 Pengontrolan Komponen Sistem Tata Udara RB

Kondisi kerja komponen pengondisi udara dikontrolkan berdasarkan mode pengoperasian sistem tata udara yang berlangsung. Terdapat juga *interlock* antarpintu RB pada sistem yang dirancang. Pengontrolan komponen sistem berikut sudah disusun dalam diagram tangga, yang telah diuraikan dengan lengkap oleh Simanjuntak dan Putra [5].

Mode sanitasi

Mode sanitasi diaktifkan setiap setelah sistem mengalami perawatan, dan setiap setelah RB digunakan untuk kegiatan pembedahan. Pada mode ini, tidak terjadi pengontrolan tekanan udara dalam RB. Pengoperasian sistem pada mode ini berdasarkan ketentuan-ketentuan berikut ini:

1. Tombol pengaktifan sistem atau mode sanitasi (S_1) ditekan.
2. Kondisi *damper* berubah seperti berikut:
3. *Damper* udara segar (D_{fa}) terbuka 32,5 %
4. *Damper* udara buangan (D_{ex}) terbuka 27,5 %
5. Pada pengoperasian mode sanitasi setelah perawatan, kipas kondenser (F_{cd}) aktif bersamaan dengan perubahan kondisi *damper*.
6. Setelah mengalami waktu tunda selama 60 dtk, kipas udara catu (F_{sa}) dan kipas udara buangan (F_{ex}) aktif, di mana pada mode ini kipas udara buangan bekerja dengan putaran lambat.
7. Hanya kompresor-1 (K_1) yang aktif. Pada pengoperasian mode sanitasi setelah perawatan, katup solenoid (SV) refrigeran terbuka bersamaan dengan aktifnya kompresor, yaitu 60 dtk setelah aktifnya kipas.
8. Pemanas elektrik nonaktif ketika $T_{sa} > 28,5$ °C.
9. Ketika suhu udara setelah koil pendingin $T_6 > 20,4$ °C dan tekanan rendah refrigeran $P_{ev} > 9,98$ bar, maka kompresor aktif.

Mode persiapan

Pada mode persiapan, sistem bekerja mengikuti ketentuan-ketentuan berikut ini:

1. Tombol pengaktifan mode persiapan (S_2) ditekan.
2. Udara sanitasi dibuang dengan melakukan perubahan sebagai berikut:

3. *Damper* udara segar terbuka 100 %.
4. *Damper* udara buangan terbuka 100 %.
5. *Damper* udara resirkulasi (D_{re}) tertutup.
6. Setelah waktu tunda 60 dtk, putaran kipas udara buangan menjadi cepat.
7. Setelah tiga menit, kondisi *damper* dan kipas udara buangan berubah kembali seperti pada mode sanitasi.
8. Kompresor-2 (K_2) aktif 60 dtk setelah kondisi pada nomor tiga terpenuhi.
9. Pemanas elektrik nonaktif ketika $T_{sa} > 24,5$ °C
10. Terjadi pengontrolan kompresor yang memenuhi kondisi berikut ini:
11. K_2 nonaktif kembali setelah 10 menit bekerja.
12. Ketika suhu udara $T_6 > 15,4$ °C dan tekanan rendah refrigeran $p_{ev} > 9,98$ bar, K_1 akan aktif.
13. Terjadi pengontrolan tekanan udara yang memenuhi ketentuan berikut ini:
14. Ketika $\Delta p_{room} < 12$ Pa atau salah satu pintu pada RB terbuka, maka *damper* udara buangan tertutup.
15. Ketika $\Delta p_{room} > 18$ Pa, maka *damper* resirkulasi terbuka 100 % dan *damper* udara segar hanya terbuka 32,5 %.

Selain pengontrolan mode sanitasi dan mode persiapan, ada kemungkinan untuk mengalihkan sistem ke mode perawatan dan perbaikan atau menonaktifkan sistem. Dibutuhkan urutan tertentu hingga sistem menjadi nonaktif, seperti berikut ini.

1. Pemanas elektrik nonaktif.
2. *Damper* udara segar dan udara buangan menutup.
3. Kipas udara catu dan kipas udara buangan nonaktif.
4. Katup solenoid refrigeran menutup.
5. Terdapat waktu tunda selama tiga menit untuk proses *pump down*, kemudian kompresor nonaktif.
6. Setelah waktu tunda selama 60 dtk, kipas kondenser nonaktif.

Mode operasi

Mode operasi diaktifkan menjelang dan selama berlangsungnya kegiatan pembedahan, sehingga dibutuhkan pengontrolan sistem seperti berikut ini:

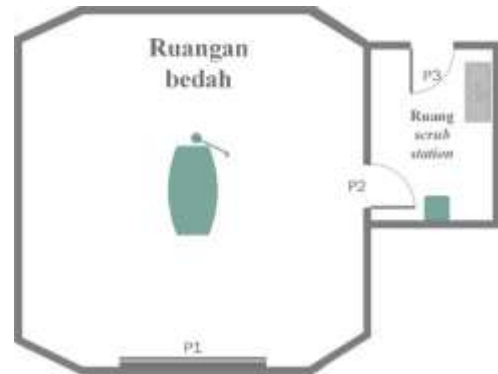
1. Tombol pengaktifan mode operasi (S_3) ditekan.
2. Kondisi *damper* berubah seperti berikut ini:

3. *Damper* udara segar terbuka 100 %.
4. *Damper* udara buangan terbuka 100 %.
5. *Damper* udara resirkulasi tertutup.
6. Setelah 60 dtk, putaran kipas udara buangan menjadi cepat.
7. Kompresor-2 (K_2) aktif 60 dtk setelah kondisi pada nomor tiga terpenuhi.
8. Pemanas elektrik nonaktif ketika $T_{sa} > 18,8^\circ\text{C}$.
9. Ketika suhu udara setelah koil pendingin $T_6 > 11,8^\circ\text{C}$ dan tekanan rendah refrigeran $p_{ev} > 9,98$ bar, maka K_1 aktif.
10. Terjadi pengontrolan tekanan udara yang memenuhi ketentuan berikut ini:
11. Ketika $\Delta p_{room} < 12$ Pa atau salah satu pintu pada RB terbuka, maka *damper* udara buangan hanya terbuka 27,5 % dan putaran kipas udara buangan melambat.
12. Ketika $\Delta p_{room} > 18$ Pa, maka *damper* udara buangan kembali terbuka 100 % dan putaran kipas udara buangan kembali cepat.

Sistem *interlock* antarpintu RB

Pengondisian udara RB menyebabkan pintu-pintu yang terletak di ruangan tersebut membutuhkan perlakuan khusus. Tidak boleh terjadi dua pintu yang terbuka secara bersamaan. Ketika terdapat salah satu pintu yang dibuka, maka pintu yang lain harus terkunci. Hal tersebut merupakan upaya antisipasi agar tekanan udara dalam RB tetap positif. Faktor kebersihan udara dalam RB menjadi pertimbangan utama penerapan kondisi tersebut.

Pada RB yang dirancang, terdapat tiga pintu yang terlibat dalam pengondisian sistem *interlock*, yaitu pintu utama RB (P1), pintu *scrub station* (P2), dan pintu koridor kotor (P3). Pintu RB merupakan pintu utama tempat masuk dan keluarnya pasien serta tenaga medis operasi. Pintu *scrub station* menghubungkan antara RB dengan ruang *scrub station*. Sedangkan pintu koridor kotor merupakan pintu yang menghubungkan ruang *scrub station* dengan koridor kotor, di mana pintu tersebut biasanya dilalui oleh petugas kebersihan yang mengeluarkan limbah pasca operasi dari ruang *scrub station*. Lokasi penempatan pintu-pintu tersebut dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7 penempatan pintu pada RB [5]

6 Kesimpulan

Telah dirancang sistem pengondisian udara ruangan bedah dengan tiga mode pengoperasian: mode sanitasi, mode persiapan, dan mode operasi. Properti udara catu yang dibutuhkan RB pada mode operasi memiliki suhu bola kering sebesar $17,9^\circ\text{C}$ dan kelembaban nisbi 65%. Kondisi termal udara yang menjadi objek

perancangan, yaitu suhu, kelembaban nisbi, aliran, dan tekanan. Suhu udara RB dikondisikan menggunakan pemanas elektrik dengan kapasitas daya 12 kW yang dikontrol berdasarkan perubahan suhu udara catu. Kelembaban nisbi udara dikondisikan menggunakan unit pengondisi udara *direct expansion* dengan menggunakan dua buah kompresor dengan kapasitas daya masing-masing 28 kW. Pengaktifan kompresor tersebut berdasarkan mode kerja, suhu udara setelah melewati koil pendingin, dan tekanan refrigeran setelah melalui evaporator. Aliran udara dikontrol menggunakan *damper* udara catu, *damper* udara buangan, dan *damper* udara resirkulasi yang dapat diubah besar bukaan, serta kipas udara catu yang memiliki kecepatan putaran konstan dan kipas pembuangan udara yang dapat diubah kecepatan putarannya. Terdapat juga sistem *interlock* antar pintu RB untuk menjaga tekanan udara di dalamnya. Waktu yang diperlukan ruangan untuk mencapai suhu tunak, nisbah kelembaban tunak, dan kelembaban nisbi tunak berdasarkan simulasi model matematik berturut-turut ialah 250 detik, 260 detik, dan 650 detik dan waktu yang diperlukan tekanan udara dalam ruangan untuk mencapai tekanan udara yang sama dengan ruangan di sekitarnya, yaitu 28 detik.

7 Daftar Simbol

A = luas penampang (m^2)

C_p	=	kapasitas kalor udara ($kJ.kg/K$)
CP	=	kapasitansi tekanan (mol/Pa)
h	=	entalpi spesifik (kJ/kg)
$\dot{m}$	=	laju aliran massa (kg/dtk)
P	=	tekanan (Pa)
ρ	=	rapat massa (kg/m^3)
$\dot{Q}$	=	laju aliran kalor (W)
RH	=	kelembaban nisbi (%)
T	=	suhu ($^{\circ}C$)
U	=	koefisien transmisi termal ($W/m.K$)
ν	=	volume spesifik (m^3/kg)
V	=	volume (m^3)
$\dot{V}$	=	laju volumetrik (m^3/dtk)
W	=	nisbah kelembaban (g_{air}/kg_{udara})
Z	=	tahanan udara ($Pa.dtk/kg$)
a	=	udara
adj	=	sekitar
ceil	=	langit-langit
db	=	bola kering
dp	=	titik embun
door	=	pada pintu
ev	=	evaporasi
ex	=	udara buangan

flr	=	lantai
load	=	beban
room	=	pada ruangan
sens	=	sensibel
sa	=	udara catu
wall	=	pada dinding
wb	=	bola basah

8 Daftar Pustaka

- [1] ASHRAE, "Clean Spaces," in *HVAC Applications*, Atlanta, ASHRAE, 2011, pp. 18.1-18.22
- [2] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Pedoman Teknis Ruang Operasi Rumah Sakit*, Jakarta, 2012
- [3] ASHRAE, *Fundamentals*, Atlanta: ASHRAE, Inc, 2009
- [4] Pramadhani, E.R. dan Juniardi, R. *Perancangan Sistem Tata Udara Ruang Bersih Bertekanan untuk Diterapkan sebagai Ruang Operasi*. Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2014
- [5] Simanjuntak, E.K. dan Putra, S.K. *Perancangan dan Kendali Mode Pengoperasian Sistem Tata Udara Ruangan Bedah*. Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2015

Rancang Bangun Sistem Kontrol Otomasi Fertigasi Parameter Suhu Sistem Aeroponik pada Caisim

¹Alimuddin*), ²Ria Arafiah, ³Kartina, ⁴Bagus Kukuh Udiarto, ⁵Suparlan, ⁶Yanto Surdiyanto, ¹Raden Vergiansyah

¹Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

²Program Studi Sistem Komputer Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta, Jakarta

³Departemen Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

⁴BALITSA BALITBANG Kementerian Pertanian, Bandung, Jawa Barat

⁵BB MEKTAN BALITBANG Kementerian Pertanian, Serpong, Banten

⁶BPTP Bandung, Jawa Barat

(cooresponding author) E-mail alimuddineuntirta@yahoo.com*)

Abstrak

Aeroponik merupakan suatu cara bercocok tanam diudara tanpa penggunaan tanah cocok daerah perkotaan. Tanaman yang digunakan adalah tanaman sawi (*caisim*) merupakan tanaman sayuran kebutuhan pokok masyarakat Indonesia. Suhu tanaman merupakan parameter utama yang mempengaruhi jumlah air dan nutrisi yang dibutuhkan sesuai dengan karakteristik tanaman yang ditanam. Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan suhu pada sistem aeroponik sesuai dengan karakteristik tanaman dengan metode pengendalian menggunakan kontrol otomasi pada parameter suhu tertentu. Sistem kontrol secara *realtime* menggunakan komputer, mikrokontroler Arduino UNO, sensor suhu DHT1, aktuatur pompa dan kipas angin. Hasil pengendalian otomatis mampu mengendalikan suhu pada sistem aeroponik dengan tanaman caisim yang berumur kurang lebih 1 bulan dengan keadaan suhu ruangan 30°C dan dengan setpoint suhu 28°C yang merupakan parameter karakteristik dari tanaman sawi (*Caisim*) yang ditanam, respon kendali menghasilkan Td 128 detik, Tr 256 detik, Tp 263 detik, Ts 250 detik, Mp 3,57%, Ess 3,57 %.

Kata kunci : sistem kontrol otomasi, suhu, aeroponik, caisim

1 Pendahuluan

Pentingnya sayuran bagi kesehatan memicu peningkatan produk sayuran. Untuk menghasilkan sayuran segar, sehat dan bermutu tinggi, diperlukan penanganan yang baik mulai tahap pemilihan lokasi, benih, hingga cara pemupukannya [1]. Sawi merupakan jenis sayur yang digemari oleh masyarakat Indonesia. Dari berbagai jenis sawi, pakcoy termasuk jenis yang banyak dibudidayakan petani saat ini. Kelebihan lain sawi pakcoy yaitu mampu tumbuh baik di dataran rendah maupun dataran tinggi. Tanaman sawi diduga berasal dari Tiongkok (Cina), tanaman ini telah dibudidayakan sejak 2500 tahun lalu,

kemudian menyebar luas ke Filipina dan Taiwan serta ke negara-negara Asia lainnya [2].

Aeroponik merupakan suatu cara bercocok tanam sayuran diudara tanpa penggunaan tanah. Akar tanaman yang ditanam menggantung akan menyerap larutan hara tersebut. Air dan nutrisi disemprotkan menggunakan fertigasi sprinkler. Dengan sistem ini maka penanaman dapat dilakukan dimana saja, walaupun dengan investasi awal yang cukup besar. (Susilo DA, 2006)

Perbedaan sistem hidroponik dengan sistem aeroponik ada pada cara fertigasinya. Jika pada hidroponik sistem fertigasinya dilakukan dengan cara mengalirkan atau meneteskan nutrisi. Sedangkan pada aeroponik sistem fertigasinya dengan cara menyemprotkan atau menspray nutrisi ke akar tanaman. Dengan perbedaan ini maka dapat dilakukan penelitian sistem fertigasi yang membedakan antara sistem hidroponik dengan sistem aeroponik melalui parameter-parameter yang ada pada tanaman. [3,4]

Suhu suatu tanaman merupakan parameter utama yang mempengaruhi jumlah air nutrisi yang dibutuhkan, sehingga dapat melakukan efisiensi pada listrik yang dipakai karena waktu fertigasi yang sudah di kontrol. Dengan melihat beberapa aspek parameter seperti suhu udara, kelembaban, kecepatan angin, durasi fertigasi, interval fertigasi, dan umur tanaman, maka dapat dirancang sebuah sistem kontrol fertigasi ini. Dalam penelitian hanya menggunakan parameter suhu. Sistem aeroponik ini dapat beroperasi untuk tanaman yang berumur 4 minggu, dengan set suhu 26°C sampai 30°C dan set kelembaban antara 40% sampai 70% serta interval penyemprotan air nutrisi berlangsung selama 30 detik.

Mikrokontroler Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada IC

Atmega328. Salah satu contoh yang akan dibahas kali ini yaitu arduino Uno. Arduino UNO mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah computer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.[5,6]

Sistem, pengaturan dan otomatis. Sistem adalah sebuah susunan komponen-komponen fisik yang saling terhubung dan membentuk satu kesatuan untuk melakukan aksi tertentu dengan mengatur, mengednalikan, mengarahkan dan memerintah dengan bekerja sendiri [7,8]

Pada penelitian sebelumnya dengan sistem aeroponik ini mampu beroperasi pada bayam yang berumur 4 minggu dengan suhu 30°C dan interval penyemprotan selama 30 detik, dengan rata-rata penurunan suhu 0,3°C – 0,7°C ketika sistem berlangsung serta belum menggunakan mikrokontroler ardino sehingga relative ruwet dibandingkan menggunakan mikrokontroler ardino [9,10]. Tujuan penelitian merancang dan membuat sistem kontrol fertigasi otomasi pada parameter temperatur tanaman sawi dengan sistem aeroponik.

2 Metode Penelitian

Rancang bangun sistem kontrol fertigasi parameter temperatur dan kelembaban tanaman pada sistem aeroponik ini menggunakan sebuah mikrokontroler Arduino UNO dan sebuah sensor suhu dan kelembaban telah dilakukan serangkaian kegiatan untuk menyelesaikan penelitian ini.

Metodologi yang digunakan untuk penelitian ini adalah *pertama*, Mempelajari studi tentang sistem aeroponik untuk mengetahui sejauh mana cara bercocok tanam dengan cara sistem aeroponik ini dilakukan, *kedua*, merancang perangkat keras (*Hardware*) berupa box aeroponik dan seperangkatnya yang terdiri dari box penampungan air, meja dudukan, tempat dudukan lampu, serta *Styrofoam* yang digunakan untuk menempatkan tanaman pada netpot, *ketiga*, merancang rangkaian catu daya 5VDC dan 12 VDC sebagai tegangan input ke mikrokontroler Arduino UNO dan sebagai tegangan input pada kipas atau *fan*, *keempat*, Merancang sistem mikrokontroler Arduino UNO sebagai pengontrol temperatur dan kelembaban, *kelima*, merancang rangkaian sensor

DHT11 sebagai pembaca temperatur dan kelembaban yang mempunyai peran yang cukup penting pada penelitian ini, *keenam*, Merancang penampil LCD (*Liquid Crystal Display*) berukuran 16x2 sebagai output tampilan yang akan menampilkan temperatur dan kelembaban dari pembacaan sensor temperatur dan kelembaban DHT11 yang sudah diintegrasikan dengan mikrokontroler Arduino UNO, *ketujuh*, merancang rangkaian relay yang berfungsi sebagai saklar atau *switching* untuk menghidupkan pompa aquarium dengan menghidupkan kipas atau *fan* dari parameter temperatur dan kelembaban yang sudah di tentukan melalui pengontrol mikrokontroler Arduino UNO, *kedelapan*, Merancang program pengontrol pada mikrokontroler Arduino UNO yang akan dihubungkan dengan sensor temperatur dan kelembaban DHT11, *Kesembilan*, Menguji sistem aeroponik agar nantinya pemberian nutrisi dapat tersalurkan dengan baik, *kesepuluh*, Menguji temperatur dan kelembaban di dalam box aeroponik menggunakan sensor temperatur dan kelembaban DHT11 yang sudah terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino UNO, *kesebelas* membandingkan hasil dari pembacaan sensor temperatur dan kelembaban DHT11 dengan keadaan aslinya, menggunakan termometer ruangan air raksa, dan sebuah termometer digital.

sistem kontrol fertigasi otomasi parameter suhu sistem aeroponik skala laboratorium dengan mikrokontroler ardino.



Gambar 1. Integrasi Sistem kontrol otomasi fertigasi aeroponik pada tanaman sawi.

3 Hasil Dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan ini melakukan pengujian dan pengukuran diantaranya yaitu pengukuran pada saat sensor temperatur mendeteksi ruangan kamar dan sensor temperatur box aeroponik.

Pada saat sensor temperatur mengukur didalam box aeroponik, pada saat itu sudah dikontrol oleh mikrokontroler Arduino UNO. Batas-batas yang digunakan yaitu pada temperatur 25 – 30°C. Ruangan yang digunakan pada penelitian ini adalah ruangan kamar dengan temperatur ruangan 28 – 30°C.

Selain itu pengujian terhadap program dari mikrokontroller Arduino UNO untuk menjalankan sesuai fungsinya atau tidak, dengan melakukan monitoring dan kontrol temperatur nutrisi tanaman sawi.

Dalam penelitian ini sensor temperatur yang digunakan adalah sensor DHT11. Pengujian sensor temperatur bertujuan untuk mengetahui sensor dapat berfungsi dengan validasi pada termometer digital. Pengujian pertama dilakukan dalam temperatur ruangan kamar. Pengujian pertama dilakukan dalam temperatur ruangan kamar.

Tabel 1. Pengujian kalibrasi sensor suhu

Pengujian	Keadaan Ruang (C)	Temperatur
DHT11	Pada 28 C	28,00
	Pada 29 C	29,00
	Pada 30 C	30,00
Termometer Digital	Pada 28 C	27,8
	Pada 29 C	28,8
	Pada 30 C	29,5

Pengujian keseluruhan tersebut, didapat durasi lamanya pompa aquarium mengalirkan nutrisi dan lamanya kipas hidup pada batas-batas temperatur yang sudah di tentukan. Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem bekerja dimana output dari seluruh kondisi dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Dari data tersebut dapat juga terdapat gangguan yang menyebabkan temperatur dan kelembaban sukar dikontrol, yaitu adanya pengaruh dari temperatur dan kelembaban dari luar box aeroponik itu sendiri.

Dari pengujian keseluruhan tersebut, didapat durasi lamanya pompa aquarium mengalirkan nutrisi dan lamanya kipas hidup pada batas-batas temperatur dan kelembaban yang sudah di tentukan.

Dari hasil pengujian sistem dapat dilihat beberapa nilai dari respon kendali sebagai kinerja kendali dengan beberapa kriteria yaitu dapat ditunjukkan pada Tabel 2 untuk suhu.

Tabel 2. Karakteristik tanggapan sistem terhadap perubahan suhu

ΔT	Set point Suhu	Suhu Aktual	Td (detik)	Tr (detik)	Tp (detik)	Ts (detik)	Mp (%)	Ess (%)
1°C	28°C	29°C	88	165	210	248	3,01	3,57
2°C	28°C	30°C	126	235	265	299	3,01	3,57
3°C	28°C	31°C	184	355	389	410	3,01	3,57
4°C	28°C	32°C	211	415	401	499	3,01	3,57

Tabel 2 di atas menghasilkan rata-rata respon kendali Td 152 detik, Tr 292 detik, Tp 316,25 detik, Ts 373 detik, Mp 3,10%, Ess 3,57 %.

4 Kesimpulan

Adapun kesimpulan adalah : *pertama*, berhasil merancang bangun sistem control fertigasi sistem aeroponik dengan parameter suhu pada tanaman sawi, *kedua* Hasil pengujian selama 4 minggu dengan suhu setpoint 28°C dan suhu ruangan 29-32°C menghasilkan respon kendali yang baik, yaitu respon kendali Td 152 detik, Tr 292 detik, Tp 316,25 detik, Ts 373 detik, Mp 3,10%, Ess 3,57 %

5 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Pertanian Republik Indonesia atas pembiayaan penelitian untuk Skim Hibah KKP3N Litbang Kementerian Pertanian kepada peneliti 2015-2016

6 Daftar Pustaka

- [1] Adiyoga, W. 1999. Pola Pertumbuhan Produksi Beberapa Jenis Sayuran di Indonesia
- [2] Fahrudin, Fuat. 2009. "Budidaya Caisim Menggunakan Ekstrak Teh Dan Pupuk Kascing". Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [3] Susila, D Anas. 2006. "Panduan Budidaya Tanaman Sayuran", IPB Bogor,
- [4] Sumarni, Eni. 2013. "Pendinginan Zona Perakaran (Root Zone Cooling) Pada Produksi Benih Kentang menggunakan Sistem Aeroponik". Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [5] Anonim, DFRobot. Digital-Output relative & temperature sensor/modul - DHT11.

- [6] Artanto, Dian. 2012. "Interaksi Arduino dan LabVIEW". Jakarta: Elex Media Komputindo
- [7] Ogata, Katsuhiko. 2002. "Modern Control Engineering". University Of Minnesota.
- [8] Alimuddin, Ria Arafiah, Sirajuddin, Adipurna 2013, "Perancangan Sistem Pengendali Model Suhu Pada Closed House Menggunakan Metode Fuzzy Logic Control". Prosiding Seminar Nasional SNTE PNJ, Jakarta
- [9] Diansari, Muthia. 2008. "Pengaturan Suhu, Kelembaban, Waktu Pemberian Nutrisi Dan Waktu Pembuangan Air Untuk Pola Cocok Tanam Hidroponik Berbasis Mikrokontroler AVR ATMEGA 8535". Depok: Universitas Indonesia.
- [10] Ferdiansyah. 2012. "Rancang Bangun Sistem Kontrol Pada Budidaya Tanaman Dengan Teknik Aeroponik". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Implementasi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System untuk Prediksi Produksi Energi Listrik di PLTA Wonogiri

¹Herliyani Hasanah, ²Sri Arttini Dwi Prasetyowati, ³Dedi Nugroho

¹STMIK Duta Bangsa, Surakarta 57154
E-mail: herlydb@gmail.com

^{2,3} Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung, Semarang 50112

E-mail: arttini@unissula.ac.id

E-mail: dedi.nugroho@unissula.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Wonogiri merupakan bagian dari Proyek Serbaguna Waduk Wonogiri (Waduk Gajah Mungkur). Pada musim penghujan PLTA bisa beroperasi 24 jam tetapi pada musim kemarau PLTA beroperasi sesuai kontrak antara PLTA dengan Perum Jasa Tirta (PJT). Untuk itu dilakukan prediksi produksi energi listrik yang dihasilkan PLTA. Dalam penelitian ini menentukan perbandingan hasil prediksi ANFIS dan hasil produksi energi listrik aktual PLTA. Variabel penelitian yang digunakan adalah data tahun 2010 – 2014 yaitu energi listrik yang dihasilkan PLTA Wonogiri (Kwh), elevasi muka air waduk (m), debit air ($m^3/detik$). Parameter ANFIS yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sistem inferensi fuzzy model Sugeno orde satu, dengan fungsi keanggotaan *gbell*, jumlah *epochs* (iterasi) yang digunakan adalah 100. Dalam penelitian ini digunakan 2 perbandingan, yaitu perbandingan variasi nilai laju pembelajaran dan perbandingan variasi nilai momentum. Dari hasil pengujian dengan ANFIS diperoleh keluaran dengan performansi yang bagus pada saat Fuzzy C Means 2 kelas dengan parameter laju pembelajaran 0.1, momentum 0.6 dengan besar *Mean Percentage Error* 0.609157. *Error* antara target dan prediksi pada data pembelajaran menggunakan fungsi keanggotaan *gbell* dengan besar SSE 2.61E-05 dan waktu pembelajaran 5.683000 detik.

Kata Kunci : *anfis, gbell, plta wonogiri, prediksi, energi listrik*

1 Pendahuluan

Prediksi merupakan suatu proses memperkirakan secara sistematis tentang apa yang paling mungkin terjadi di masa depan berdasar informasi masa lalu dan sekarang yang dimiliki agar kesalahannya (selisih antara apa yang terjadi dengan hasil perkiraan) dapat diperkecil.[1]

Energi listrik memegang peranan besar dalam pengembangan ekonomi nasional, bahkan sering energi listrik dianggap sebagai darah kehidupan ekonomi. Oleh karena itu pembangunan infrastruktur dalam penyediaan energi secara

tepat dan berdaya guna tinggi merupakan syarat mutlak untuk meningkatkan ekonomi. [2]

Waduk Gajah Mungkur berada di Kecamatan Wonogiri. Salah satu fungsi dari Waduk Gajah Mungkur digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik. Kapasitas yang terpasang di PLTA Wonogiri adalah 2 x 6,2 MW yang terdiri dari 2 unit mesin pembangkit yang dapat menghasilkan tegangan listrik sebesar 15500 KVA dan mampu menghasilkan daya listrik 40 juta kwh/ tahun.

Operasi PLTA bergantung pada pasokan air untuk irigasi. Waduk Gajah Mungkur beroperasi setiap hari, pada musim penghujan PLTA bisa beroperasi 24 jam tetapi pada musim kemarau PLTA beroperasi sesuai kontrak antara kedua pihak. Besarnya air yang dialirkan tersebut telah tercantum pada surat kontrak antara PJT dengan PLTA Wonogiri. Tetapi kenyataannya, PJT tidak mampu mengalirkan air dalam jumlah tetap setiap harinya dikarenakan tidak tetapnya besar debit air yang masuk ke Waduk Gajah Mungkur atau dari pihak PLTA ada kendala (turbin bermasalah, pengecekan rutin), sehingga besarnya energi listrik yang dihasilkan PLTA Wonogiri setiap harinya juga tidak tetap. Untuk itu dilakukan prediksi energi listrik yang dihasilkan PLTA.

Saat ini, metode prediksi yang digunakan adalah metode sederhana yang mengandalkan pengalaman tahun – tahun sebelumnya dan perkiraan jangka pendek dari pengelola PT Indonesia Power serta informasi perkiraan cuaca jangka pendek dari Badan Meterologi dan Geofisika.[3] Kondisi iklim secara makro di Indonesia pada umumnya memiliki kecenderungan berubah dari tahun ke tahun dan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengawan Solo yang rusak atau kritis mempersulit perkiraan besarnya jumlah aliran masukan di waduk Gajah Mungkur.

Metode kecerdasan buatan merupakan salah satu terobosan cara untuk mengatasi situasi tersebut.

Metode kecerdasan buatan ANFIS yang merupakan hibrida dari metode artificial neural network dan logika fuzzy dalam penelitian ini digunakan untuk memodelkan peramalan deret waktu aliran waduk Gajah Mungkur yang diharapkan akan mampu memberikan solusi positif jangka panjang berupa kontinuitas ketersediaan energi yang maksimum. ANFIS termasuk dalam kelas jaringan neural namun berdasarkan fungsinya sama dengan sistem inferensi fuzzy. [4]

Pada beberapa tahun terakhir ini metode kecerdasan buatan khususnya metode artificial neural network dan logika fuzzy telah digunakan dalam proses peramalan. ANN telah diterapkan di antaranya pada peramalan curah hujan [5], peramalan aliran sungai [6], pemodelan runtun waktu hidrologis [7] dan operasi waduk [2]. Demikian pula metode logika fuzzy telah digunakan untuk pengaturan dan manajemen sumber daya air [8],[9]. Metode ANFIS telah diterapkan untuk memprediksi curah hujan dan debit dengan nilai prediksi yang baik. [10]

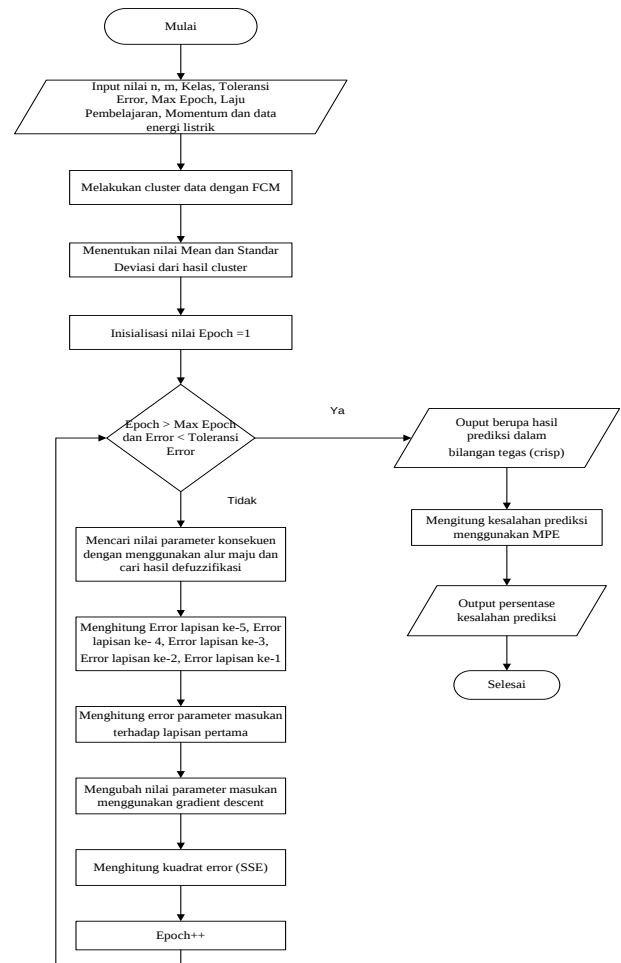
Dari latar belakang di atas, maka peneliti akan menganalisa dan memproyeksikan energi listrik yang dihasilkan PLTA Wonogiri dengan menerapkan metode ANFIS.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan hasil prediksi ANFIS untuk energi listrik yang dihasilkan PLTA Wonogiri dan menentukan perbandingan hasil prediksi ANFIS dan dan hasil produksi energy listrik aktual PLTA berdasarkan tahun dasar yang akan digunakan untuk energi listrik yang dihasilkan oleh PLTA Wonogiri

2 Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data harian Operasi Waduk Gajah Mungkur dan data harian Produksi Listrik PLTA Wonogiri tahun 2010 sampai 2014. Variabel penelitian yang digunakan adalah Data Operasi Waduk Gajah Mungkur dan Data Produksi Listrik PLTA Wonogiri harian.

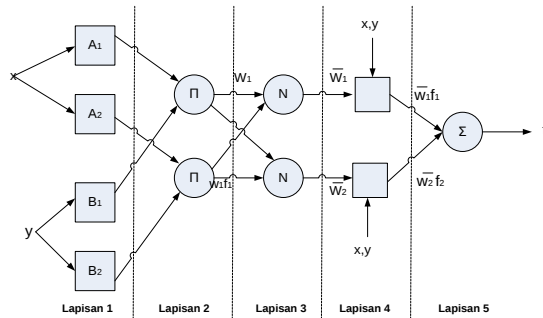
Pelaksanaan penelitian implementasi ANFIS untuk prediksi energi listrik di PT Indonesia Power Sub Unit PLTA Wonogiri dapat dilaksanakan secara garis besar dapat dilihat *flowchart* penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1 Algoritma ANFIS pada Sistem

Dalam penelitian ini simulasi prediksi energi listrik dengan ANFIS dilakukan dengan menggunakan program MATLAB versi 7.8.0.347 (R2009a), menggunakan sistem inferensi fuzzy model Sugeno orde satu, bentuk fungsi keanggotaan yang akan digunakan untuk proses pembelajaran adalah *gbell* (lonceng), jumlah epoch (iterasi) yang digunakan adalah 100 dan menggunakan 2 perbandingan, yaitu perbandingan variasi nilai laju pembelajaran dan perbandingan variasi nilai momentum.

Alur proses dari sebuah sistem ANFIS yang terdiri dari lima layer digambarkan pada Gambar 2 [11]



Gambar 2. Arsitektur Jaringan ANFIS

Lapisan 1:

Setiap simpul i pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul:

$$O_{1i} = \mu_{A_i}(x), \text{ untuk } i = 1, 2, \text{ atau} \quad (1)$$

$$O_{1i} = \mu_{B_{i-2}}(y), \text{ untuk } i=3, 4 \quad (2)$$

dimana x (atau y) adalah masukan bagi simpul i , dan A_i (atau B_{i-2}) adalah label bahasa (*linguistic label*) seperti misalnya “kecil” atau “luas”, dll. Dengan kata lain, $O_{1,i}$ adalah tingkatan keanggotaan dari himpunan fuzzy A ($= A_1, A_2, B_1$ atau B_2) dan menentukan derajat keanggotaan dari masukan x (atau y) yang diberikan. Fungsi keanggotaan parameter dari A dapat didekati dengan fungsi Bell:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (3)$$

Dimana $\{a_i, b_i, c_i\}$ adalah himpunan parameter. Parameter pada lapisan ini disebut parameter - parameter premis/ *premise parameters*.

Lapisan 2:

Setiap simpul pada lapisan ini diberi label Π , bersifat non-adaptif (parameter tetap) yang mempunyai keluaran berupa perkalian dari semua sinyal yang masuk.

$$O_{2i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), i=1,2, \quad (4)$$

Lapisan 3:

Setiap simpul pada lapisan ini diberi label N , juga bersifat non-adaptif. Masing-masing simpul menampilkan derajat pengaktifan ternormalisasi dengan bentuk

$$O_{3,i} = \bar{w} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1,2 \quad (5)$$

Apabila dibentuk lebih dari dua aturan, fungsi dapat diperluas dengan membagi w_i dengan jumlah total w untuk semua aturan.

Lapisan 4:

Tiap simpul pada lapisan ini berupa simpul adaptif dengan fungsi simpul :

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

dimana w_i adalah derajat pengaktifan ternormalisasi dari lapisan 3 dan $\{p_i, q_i, r_i\}$ merupakan himpunan parameter dari simpul ini. Parameter di lapisan ini dinamakan parameter - parameter konsekuen/ *consequent parameters*.

Lapisan 5:

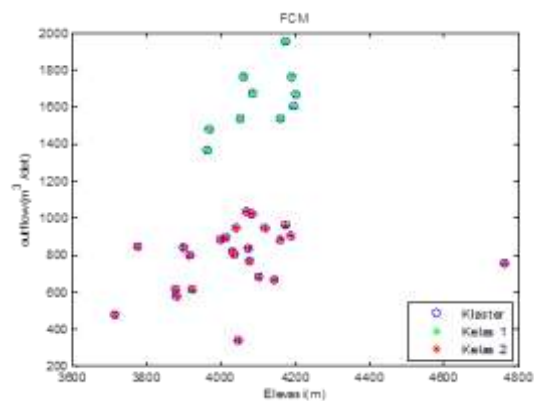
Simpul tunggal pada lapisan ini diberi label Σ , yang mana menghitung semua keluaran sebagai penjumlahan dari semua sinyal yang masuk : keluaran keseluruhan =

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (7)$$

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pembelajaran

Pada pembelajaran dilakukan proses pencarian kecenderungan masuk kluster. Data digolongkan berdasarkan jarak terdekat dari pusat kelas, dengan metode FCM (*Fuzzy C Means*) inialisasi pusat kelas. Pengkelasan dari FCM, dapat dilihat pada Gambar 3.

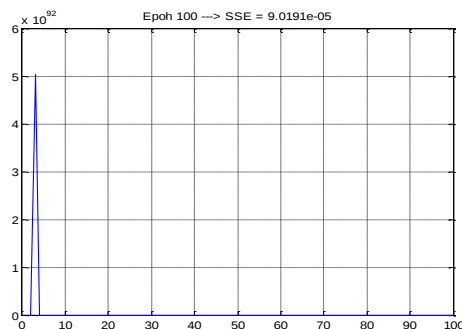


Gambar 3. Pengkelasan FCM 2 Kelas

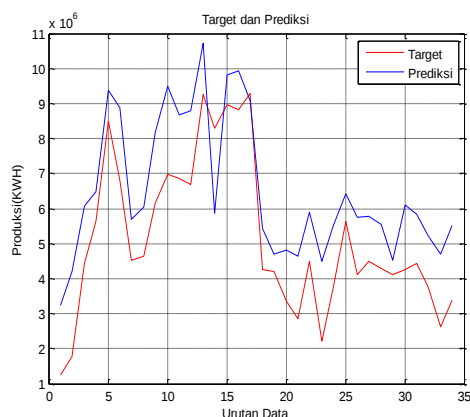
Pada awal proses, dibangkitkan derajat keanggotaan tiap *input* secara acak. Berikutnya rerata dari perkalian tiap *input* dengan derajat keanggotaan, akan menghasilkan pusat kelas. Pada penelitian ini, kelas yang dihasilkan adalah

2, yaitu kelas C1 dan kelas C2. Dari pusat kelas, akan dihitung nilai jarak antara tiap *input* dengan pusat kelas. Hasil dari perhitungan jarak disebut dengan fungsi *objective*, fungsi objektif inilah yang kemudian akan dibandingkan dengan fungsi objektif sebelumnya untuk menyatakan lanjut iterasi atau sudah sesuai dengan *error* minimal yang dihasilkan. C1 mempunyai anggota 14 pasangan data dan C2 mempunyai anggota 10 pasangan data.

Proses perhitungan akan berlanjut berdasarkan nilai *error* minimal dan *error* total rekursif atau yang biasa disebut dengan nilai SSE. Nilai SSE inilah yang dijadikan sebagai ukuran performansi dari sistem. Gambar yang dihasilkan oleh grafik rekursif adalah grafik plot yang perkembangan total *error* dari beberapa iterasi rekursif (*Epochs*). Hasil SSE dari grafik *Epochs* diperlihatkan pada Gambar 4. Secara grafik akan terlihat, apakah nilai prediksi sudah mendekati nilai target ataukah belum, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4 Grafik *Epochs* Data Training 2 Kelas



Gambar 5 Grafik Target dan Prediksi Data Pembelajaran 2 Kelas

Untuk berikutnya, akan dibandingkan nilai laju pembelajaran dan momentum, dan akan dicari

pasangan nilai yang optimum, yaitu nilai yang mendekati target yang diharapkan ataupun nilai yang mempunyai nilai *error* terkecil dari proses pembelajaran.

Laju Pembelajaran 0.1

Pada laju pembelajaran 0.1, dilakukan penelitian untuk masing-masing nilai momentum dari 0.1 hingga 1. Hasil proses anfis, kemudian dibandingkan berdasarkan nilai SSE, waktu proses dan nilai prediksi. Tabel 1 memperlihatkan tentang perbandingan SSE dan waktu proses pada saat laju pembelajaran 0.1.

Tabel 1 Perbandingan SSE dan Waktu Proses dari Laju Pembelajaran 0.1

Laju Pembelajaran	Momentum	SSE	Waktu Proses
0.1	0.1	3.93E-05	5.3905
0.1	0.2	0.00537	5.5692
0.1	0.3	29.9445	5.7604
0.1	0.4	0.00299	5.4633
0.1	0.5	0.00035	5.3505
0.1	0.6	2.61E-05	5.683
0.1	0.7	0.0058	5.6531
0.1	0.8	0.08425	5.4059
0.1	0.9	0.02078	5.7025
0.1	1	7.3E+22	5.4737

Pada tabel terlihat bahwa SSE terkecil adalah pada saat nilai momentum 0.4. Sedangkan waktu proses tercepat dari sistem anfis pada saat laju pembelajarannya adalah 0.1, yaitu pada saat nilai momentum 0.6.

Laju Pembelajaran 0.2

Pada laju pembelajaran 0.2, dilakukan penelitian untuk masing-masing nilai momentum dari 0.1

hingga 1. Hasil proses anfis, kemudian dibandingkan berdasarkan nilai SSE, waktu proses dan nilai prediksi Tabel 2 memperlihatkan tentang perbandingan SSE dan waktu proses pada saat laju pembelajaran 0.2.

Tabel 2 Perbandingan SSE dan Waktu Proses dari Laju Pembelajaran 0.2

Laju Pembelajaran	Momentum	SSE	Waktu Proses
0.2	0.1	20807.42	6.0532
0.2	0.2	106.8128	5.7368
0.2	0.3	5.29E-05	5.9478
0.2	0.4	~	~
0.2	0.5	~	~
0.2	0.6	260820.8	5.4419
0.2	0.7	0.56381	5.6636
0.2	0.8	61.217	5.7737
0.2	0.9	7.19E+15	5.3344
0.2	1	~	~

Pada tabel terlihat bahwa SSE terkecil adalah pada saat nilai momentum 0.3. Sedangkan waktu proses tercepat dari sistem anfis pada saat laju pembelajarannya adalah 0.2, yaitu pada saat nilai momentum 0.9.

Laju Pembelajaran 0.3

Pada laju pembelajaran 0.3, dilakukan penelitian untuk masing-masing nilai momentum dari 0.1 hingga 1. Hasil proses anfis, kemudian dibandingkan berdasarkan nilai SSE, waktu proses dan nilai prediksi. Tabel 3 memperlihatkan tentang perbandingan SSE dan waktu proses pada saat laju pembelajaran 0.3.

Tabel 3 Perbandingan SSE dan Waktu Proses dari Laju Pembelajaran 0.3

Laju Pembelajaran	Momentum	SSE	Waktu Proses
0.3	0.1	0.004	6.0904

0.3	0.2	555.8	6.0668
0.3	0.3	~	~
0.3	0.4	0.025	5.7741
0.3	0.5	8E-04	5.8451
0.3	0.6	7E+21	6.2139
0.3	0.7	1E-04	6.1039
0.3	0.8	~	~
0.3	0.9	49.03	5.7264
0.3	1	1E+09	6.0868

Pada tabel terlihat bahwa SSE terkecil adalah pada saat nilai momentum 0.7. Sedangkan waktu proses tercepat dari sistem anfis pada saat laju pembelajarannya adalah 0.3, yaitu pada saat nilai momentum 0.9.

Laju Pembelajaran 0.4

Pada laju pembelajaran 0.4, dilakukan penelitian untuk masing-masing nilai momentum dari 0.1 hingga 1. Hasil proses anfis, kemudian dibandingkan berdasarkan nilai SSE, waktu proses dan nilai prediksi. Tabel 4 memperlihatkan tentang perbandingan SSE dan waktu proses pada saat laju pembelajaran 0.4.

Tabel 4 Perbandingan SSE dan Waktu Proses dari Laju Pembelajaran 0.4

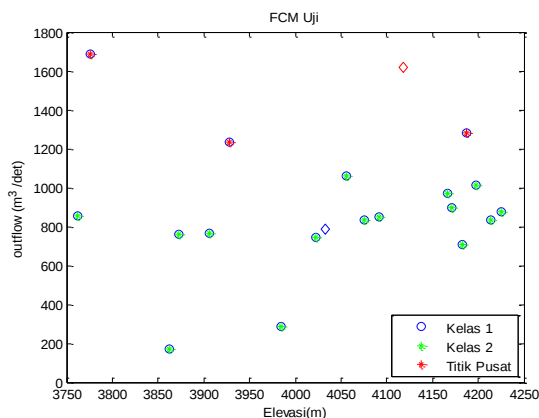
Laju Pembelajaran	Momentum	SSE	Waktu Proses
0.4	0.1	1.32E+09	5.6747
0.4	0.2	3.89E-05	5.9849
0.4	0.3	4.7E+18	5.9044
0.4	0.4	18915847	5.9543
0.4	0.5	4.43E+23	6.2885
0.4	0.6	5.1E+08	5.9403
0.4	0.7	3.58E+12	5.956
0.4	0.8	0.008067	6.2686

0.4	0.9	~	~
0.4	1	5.56E+10	5.7477

Pada tabel terlihat bahwa SSE terkecil adalah pada saat nilai momentum 0.2. Sedangkan waktu proses tercepat dari sistem anfis pada saat laju pembelajarannya adalah 0.4, yaitu pada saat nilai momentum 0.1.

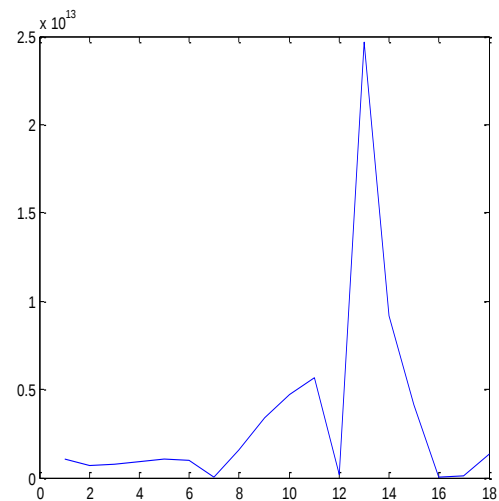
3.2 Pengujian

Proses pengujian dilakukan dengan 18 data uji. Ke-18 data uji dibagi menjadi 2 kelas. Pengkelasan FCM diperlihatkan pada Gambar 6. Pada gambar terlihat bahwa kelas pertama mempunyai anggota 3 data uji, sedangkan kelas kedua mempunyai 10 data uji. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *output* terakhir anfis dengan *input* laju pembelajaran 0.1 dan momentum 0.6.



Gambar 6 FCM Data Uji

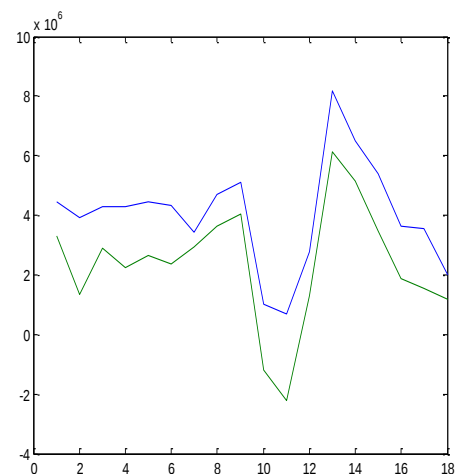
Setelah dilakukan pengkelasan, berikutnya akan dihitung *output* prediksi data uji nilai produksi. Gambar 7 memperlihatkan jumlah *error* SSE dari data uji pertama hingga 18. *Error* puncak terjadi pada data ke 13. Sedangkan perbandingan antara nilai target *output* produksi dan nilai prediksi diperlihatkan pada Gambar 10. *Error* yang terjadi masih besar. Namun *output* sistem sudah mirip dengan bentuk *output* aktual. Besar *Mean Percentage Error* (MPE) data uji anfis 2 kelas adalah 0.609157.



Gambar 7 Error dari Uji data ke 1-18

3.3 Pembahasan

Gambar 8 memperlihatkan tentang grafik perbedaan pola target dengan prediksi, pada pembelajaran fungsi keanggotaan gbell. Pada fungsi gbell, *output* yang dihasilkan, mempunyai bentuk yang hampir mirip atau mendekati bentuk target. Besarnya SSE antara target dan prediksi adalah 2.61E-05 dengan waktu proses 5.683000 detik.



Gambar 8 Grafik target dan prediksi dari data uji

Dengan data pembelajaran gbell, besar *Mean Percentage Error* (MPE) data uji untuk anfis 2 kelas adalah 0.609157. Hal ini berarti bahwa sistem, mempunyai *output* optimal yang

mendekati dengan nilai target, pada saat kelas = 2, laju pembelajaran = 0.1, dan momentum = 0.6.

4 Kesimpulan

Hasil prediksi dengan ANFIS diperoleh besar *Mean Percentage Error* (MPE) 0.609157. Perbandingan hasil prediksi ANFIS dan hasil produksi energi listrik aktual PLTA diperoleh hasil *output* optimal yang mendekati dengan nilai target, pada saat kelas = 2, laju pembelajaran = 0.1, dan momentum = 0.6 dengan fungsi keanggotaan *gbell*.

5 Daftar Pustaka

- [1] Singgih, Business Forecasting Metode Peramalan Bisnis Masa Kini dengan Minitab dan SPSS. Elex Media Komputindo, 2009.
- [2] I. Rosyadi, "Peramalan Aliran Masukan Waduk Mria Menggunakan Model Thomas-Fiering dan Jaringan Syaraf Tiruan ANFIS," *Dinamika Rekayasa*, vol.2, Agustus 2011.
- [3] Triantisto, "Notulensi Presentasi PT Indopower UBP Mrica di Lab. Hidraulika Teknik Sipil UGM," 2007.
- [4] J.Jang, "ANFIS: Adaptive-networkbased fuzzy inference systems," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 23(03), pp :665-685, 1993
- [5] L.Bodri and V.Cermak, "Prediction of extreme precipitation using a neural network," *Application to summer flood in Moravia. Advances in Engineering*, vol.31, pp : 311-321, 2000.
- [6] Y.B. Dibike and D.P. Solomatine, "River Flow forecasting Using Artificial Neural Networks", *Phys. Chem. Earth (B)*, vol.26, pp : 1-7, 2001
- [7] Jain, A., Kumar, A.M. 2006. Hybrid neural network models for hydrologic time series forecasting. *Applied Soft Computing*
- [8] F.J. Chang F.J, H.F.Hu, Y.C. Chen, "Counter propagation fuzzy-neural network for River flow reconstruction," *Hydrological Processes*, vol.15, pp : 219-232, 2001.
- [9] C. Ertunga and L. Duckstein. Fuzzy conceptual rainfall-runoff models. *Journal of Hydro.*, vol.253, pp : 41-68, 2001.
- [10] M. Rizki, "Prediksi curah hujan dan debit menggunakan metode adaptive neuro fuzzy inferensi system (ANFIS), Institut Teknologi Bandung, 2012
- [11] Kusumadewi, Hartati. 2010. *Neuro Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [12] J.Jang, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing. New Jersey Prentice-Hall, 1997.

Implementasi Near Field Communication (NFC) dan Kartu RFID sebagai Perangkat Mobile Presensi Mahasiswa

Fajril Akbar*), Meza Silvana & Surya Afnarius

Prodi Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Andalas

(corresponding author) *ijab@ft.unand.ac.id**

Abstrak

Sistem presensi mahasiswa menggunakan kartu elektronik telah banyak dikembangkan dengan berbagai teknologi. Perangkat pembaca kartu elektronik yang portable menjadi salah satu solusi tentang keterbatasan tingkat ketersediaan-nya di semua ruangan kelas. Perkembangan fitur perangkat mobile yang dilengkapi dengan Near Field Communication (NFC), telah memungkinkan untuk melakukan proses transfer data secara nirkabel dengan kartu RFID tertentu[1]. Disamping itu, perangkat mobile seperti smartphone juga mampu untuk mengakses sistem informasi akademik yang telah berbasis web services. Android sebagai salah satu sistem Operasi(SO) pada smartphone, saat ini menguasai 82.8% pangsa pasar SO perangkat mobile [2]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dikembangkan sebuah aplikasi berbasis Android dengan perangkat mobile yang terintegrasi NFC sebagai pembaca kartu RFID 13.56 MHz. Dengan melakukan analisis terhadap kebutuhan aplikasi, telah di rumuskan 4 kebutuhan fungsional aplikasi dan 4 kebutuhan non-fungsional. Analisa kebutuhan juga dirancang dalam use-case diagram, context diagram maupun data-flow level 1 diagram. Pada tahapan perancangan telah di desain antar muka, arsitektur sistem dan perancangan proses. Dalam pengimplementasian dibangun antar muka dan pemograman perangkat lunak dengan menggunakan Basic4Android. Pengujian yang dilakukan menggunakan blackbox testing terhadap 4 kebutuhan fungsional aplikasi.

Kata kunci : Sistem presensi,Android, kartu RFID, NFC

1 Pendahuluan

Penggunaan kartu elektronik sebagai pengganti sistem presensi manual dengan kerta, telah banyak dikembangkan. Salah satu jenis kartu elektronik adalah kartu yang menggunakan teknologi Radio Frequency Identification (RFID). Kartu ini adalah salah satu jenis proximity card, dimana tidak diperlukan kontak langsung atau mekanik dengan alat pembacanya. Permasalahan yang timbulkan selanjutnya adalah semua perangkat pembaca kartu tersebut harus dipasang di semua ruangan kelas dan terintegrasi dengan sistem informasi akademik mahasiswa. Untuk mengatasi permasalahan ini di butuhkan perangkat pembaca kartu yang portabel dan bisa

terkoneksi dengan sistem informasi akademik mahasiswa yang ada.

Sebuah sistem presensi telah dirancang dengan menggunakan NFC sebagai alat bantu dosen dan mahasiswa untuk kehadiran mahasiswa dengan menggunakan perangkat Android[3]. Sistem pengecekan dilakukan dalam bentuk total presensi pada tanggal tertentu maupun siapa saja yang hadir atau tidak hadir dalam perkuliahan tersebut. Mahasiswa menggunakan perangkat NFC dapat mengirimkan informasi presensi melalui NFC dan dapat mengecek jumlah kehadiran mahasiswa tersebut. Pada penelitian ini mahasiswa dan dosen menggunakan perangkat NFC yang terintegrasi dengan smartphone.

Sementara itu, sebuah sistem smart classroom yang terintegrasi teknologi NFC teknologi untuk otomatisasi manajemen kehadiran, mencari siswa, dan menyediakan umpan balik secara realtime bagi siswa juga telah dikembangkan[4]. Teknologi NFC juga diuji sebagai tools untuk evaluasi sistem pengawasan kehadiran di Universidad Pontificia de Salamanca di Madrid, Spanyol [5]. Sistem pakar berbasis teknologi NFC dan telah diimplementasikan dan diuji dikampus tersebut. Di bidang kesehatan juga telah diteliti sebuah electronic data capture (EDC) sistem berbasis NFC [6]. NFC adalah cara mudah untuk diri-pelaporan informasi status kesehatan. Sistem EDC kami memungkinkan pemantauan pasien dan akuisisi data elektronik langsung dari rumah pasien.

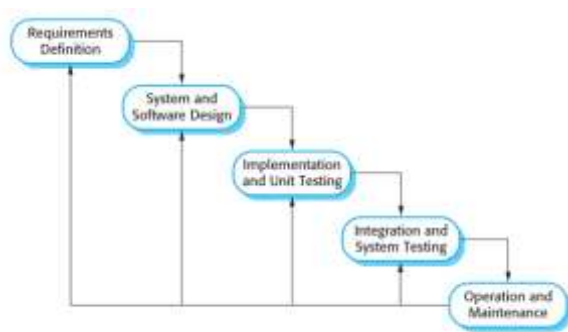
Perangkat smartphone saat ini juga telah banyak dilengkapi dengan perangkat NFC, yang memungkinkan pengguna untuk melakukan proses transfer data melalui media nirkabel termasuk diantaranya adalah dengan kartu RFID. Disamping itu, aplikasi yang dibangun di smartphone juga memiliki kemampuan untuk mengakses sistem informasi akademik. Perangkat smartphone yang dilengkapi perangkat NFC dan aplikasi berbasis mobile merupakan solusi terbaik menjadi alat pembaca kartu RFID yang portabel. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebuah aplikasi sistem presensi

mahasiswa dengan menggunakan perangkat NFC yang berbasis Android dan kartu RFID.

2 Metodologi

Penelitian ini merumuskan bagaimana mengimplementasikan sebuah sistem presensi mahasiswa dengan menggunakan kartu RFID dan NFC. Dengan merancang sebuah aplikasi sistem presensi berbasis Android dan melakukan implementasi sistem presensi mahasiswa pada, sistem akan diuji berdasarkan kebutuhan fungsionalnya dengan metode black box.

Tahapan pembangunan perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan metodologi SDLC (Software Development Life Cycle). Model proses pengembangan waterfall dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 model proses pengembangan perangkat lunak Waterfall

Penelitian ini mengadaptasi model proses waterfall. Tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Mengumpulkan literatur yang terkait dengan topik penelitian yang akan dilakukan untuk dijadikan dasar penelitian dan panduan penelitian.

2. Analisa kebutuhan

Pada tahapan ini dilakukan kajian kebutuhan yang diharapkan dari sistem presensi mahasiswa berbasis kartu RFID dan perangkat NFC serta batasan-batasan dari sistem yang akan dibangun. Dari tahapan ini dihasilkan daftar kebutuhan fungsional perangkat keras dan perangkat lunak yang dibangun.

3. Desain

Tahapan desain merupakan tahapan perancangan perangkat lunak yang akan dibangun. Rancangan perangkat lunak meliputi rancangan antarmuka dan rancangan proses perangkat keras yang digunakan.

4. Implementasi

Implementasi perangkat lunak dilakukan berdasarkan rancangan dari tahapan desain. Implementasi dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Android.

5. Pengujian

Menguji aplikasi yang telah dikembangkan.

3 Analisis dan Perancangan Sistem

Penelitian ini dilaksanakan dalam 6 tahapan. Dari semua tahapan yang direncanakan, telah diselesaikan 3 tahapan yaitu studi literatur, analisa kebutuhan dan perancangan. Pada bagian ini akan dijelaskan tahapan analisa kebutuhan dan perancangan.

3.1 Kebutuhan Fungsional Sistem

Analisis kebutuhan terdiri dari kebutuhan fungsional sistem, kebutuhan non-fungsional sistem, use-case diagram, context diagram dan data flow diagram dari aplikasi yang akan dibangun. Rancangan kebutuhan fungsional sistem ini disusun berdasarkan analisa terhadap fungsi aplikasi dan kajian dari aplikasi sejenis. Fungsional yang akan dibangun dalam aplikasi ini adalah:

1. User melakukan *login*
1. User melihat daftar matakuliah yang di ampu
2. User melihat daftar mahasiswa di matakuliah yang di ampu
3. User meng-*inputkan* data absensi mahasiswa dengan NFC

3.2 Kebutuhan Non-fungsional sistem

Adapun kebutuhan non-fungsional yang dirumuskan dalam rancangan aplikasi ini adalah:

1. Sistem memiliki proses autentifikasi pengguna aplikasi
2. Sistem memiliki tingkat ketersediaan layanan minimal 99%
3. Besar ukuran aplikasi dibatasi sebesar maksimum 10 Mbytes.

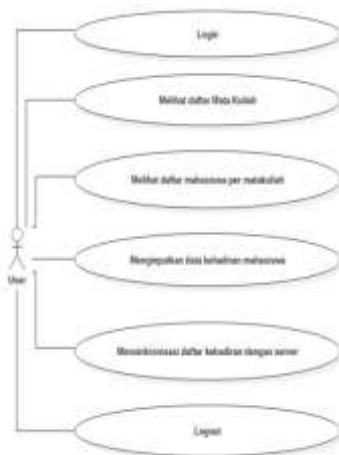
4. Aplikasi dapat digunakan pada platform *Android*
5. *Response time* aplikasi dipengaruhi oleh koneksi jaringan ke server.

3.3 Use Case Diagram

Aplikasi yang akan dibangun terdiri dari berbagai aktivitas. Aktivitas tersebut dapat digambarkan melalui use case diagram. Diagram ini disusun berdasarkan kebutuhan fungsional sistem yang telah ditentukan sebelumnya. Use case terdiri dari 1 aktor yaitu user dan 5 use case.

Tabel 1 Deskripsi Aktor

No.	Aktor	Deskripsi
1	User	Orang yang menggunakan aplikasi berdasarkan hak akses.



Gambar 2 use case diagram

Deskripsi actor dan use-case dapat dilihat pada Tabel 1 dan tabel 2. Use diagram aplikasi *mobile* ini dapat dilihat pada Gambar 2.

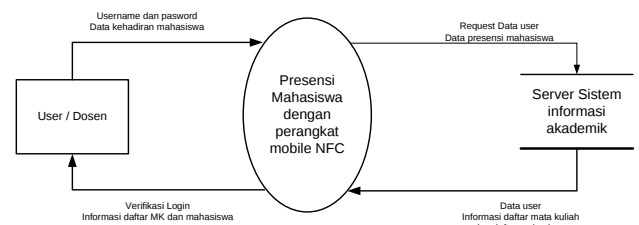
Tabel 2 Deskripsi use case

No.	Usecase	Deskripsi
1	User melakukan login	Proses login user untuk mengakses data kehadiran
2	User melihat daftar matakuliah yang diampu	Proses melihat daftar mata kuliah yang diampu oleh user yang bersangkutan
3	User melihat daftar mahasiswa dari matakuliah yang	Proses memilih dan melihat daftar mahasiswa per mata kuliah yang diampu

	diampu	
4	User menginputkan data absensi mahasiswa dengan NFC	Proses absensi mahasiswa dengan membaca dan mencocokkan ID card yang terdaftar dengan NFC

3.4 Context Diagram

Context diagram adalah diagram yang terdiri dari suatu proses dan menggambarkan ruang lingkup suatu sistem. Context diagram merupakan level tertinggi dari Data Flow Diagram yang menggambarkan seluruh input ke sistem atau output dari sistem. Gambar 3 menunjukkan context diagram dari sistem.

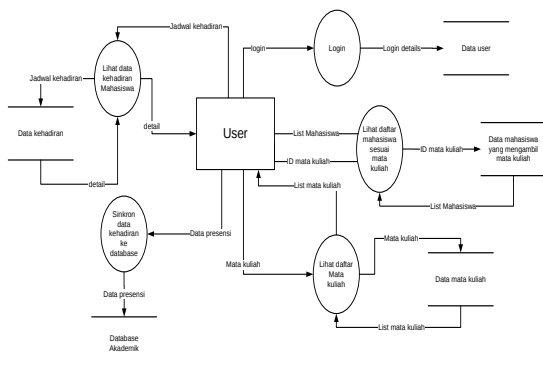


Gambar 3 context diagram

Aplikasi ini mempunyai entitas eksternal yaitu user. User akan memberikan username dan password serta data kehadiran mahasiswa kepada sistem. Sistem akan memberikan output berupa verifikasi untuk login, daftar mata kuliah dan mahasiswa sesuai dengan mata kuliah. Sistem juga akan meminta data user ke server akademik dan memberikan data presensi mahasiswa. Kemudian server akademik akan memberikan data user yang ada dan informasi mata kuliah beserta mahasiswanya kepada sistem.

3.5 Data Flow Diagram Level 1

Data Flow Diagram (DFD) merupakan diagram yang menggambarkan sistem sebagai suatu jaringan fungsional yang dihubungkan satu sama lain dengan alur data manual maupun komputerisasi. DFD level 1 dari aplikasi ini terdiri dari 5 data store dan 5 proses yang melibatkan user. DFD level 1 dari aplikasi yang akan dibangun dapat dilihat pada gambar 4.



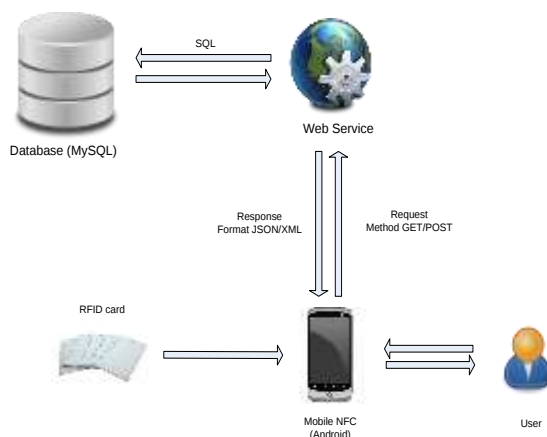
Gambar 4 data flow diagram level 1

4 Perancangan Sistem

Pada tahapan selanjutnya setelah melakukan analisis kebutuhan adalah perancangan sistem yang akan dibangun. Bagian ini terdiri dari perancangan arsitektur aplikasi, perancangan antar muka dan perancangan proses.

4.1 Perancangan Arsitektur Aplikasi

Arsitektur aplikasi ini digambarkan hubungan setiap komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam aplikasi. Web service digunakan untuk melayani request dan respon dari user dan database. Data yang dikirim ke perangkat mobile dikirim dalam format Javascript Object Notation (JSON). Sementara itu, interaksi antara web service dengan database menggunakan Structure Query Language (SQL). Arsitektur aplikasi ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 arsitektur aplikasi

4.2 Perancangan Antar Muka

Berdasarkan kebutuhan fungsional yang telah disusun, maka telah dirancang antar muka dari aplikasi yang dibangun. Tampilan dari aplikasi ini terdiri dari beberapa komponen seperti menu, label, tombol dan komponen lainnya. Beberapa

rancangan antar muka aplikasi akan disajikan dalam bagian ini.

a. Login

Halaman login terdiri dari dua bagian yaitu nama halaman dan *form login*. *Form login* terdiri dari sebuah tombol *login* dan 2 buah *field input*, yaitu *username* dan *password* untuk mengisi akun login dari user. Rancangan halaman ini dapat dilihat pada gambar 6

Gambar 6 rancangan halaman Login

b. Daftar Mata Kuliah yang Diampu

Halaman daftar mata kuliah terdiri dari bagian nama halaman dan daftar mata kuliah yang akan bisa di pilih user nantinya. Gambar 7 menunjukkan rancangan halaman daftar mata kuliah yang diampu.

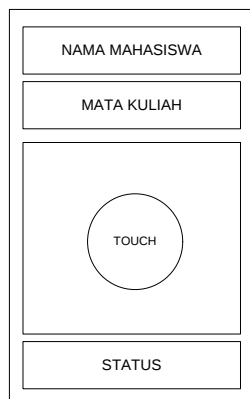
Gambar 7 rancangan halaman daftar mata kuliah

c. Daftar Mahasiswa Mata Kuliah

Halaman daftar mahasiswa mata kuliah memiliki struktur yang sama dengan halaman mata kuliah. Nama halaman diletakkan dibagian atas dan dibawahnya adalah form content yang berisi daftar mahasiswa yang akan dipilih oleh user.

d. Presensi

Halaman presensi terdiri dari bagian nama mahasiswa, nama mata kuliah, status presensi dan tombol *touch*. Tombol *touch* digunakan untuk men-scan ID card mahasiswa via NFC. Gambar 8 menunjukkan rancangan halaman daftar mata kuliah yang diampu.



Gambar 8 rancangan halaman presensi

4.3 Perancangan Proses

Perancangan proses dari aplikasi ini berbentuk skenario. Skenario berfungsi untuk menampilkan urutan aktivitas aksi-reaksi antara user dengan system. Perancangan proses ini terdiri dari semua *use case* yang terdapat pada *use-case diagram* pada gambar 2.

1. Skenario Login

Skenario ini merupakan kegiatan yang dilakukan oleh user untuk login ke dalam aplikasi. Skenario dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Skenario Use Case Login

Use case name	Login
Participating actor	User
Flow of events	Aktor mengakses aplikasi Sistem menampilkan halaman Login Aktor mengisi username dan password dan meng-klik tombol Login Sistem menampilkan info status login dan info user.
Entry condition	User mengakses aplikasi
Exit conditions	User telah login ke sistem

2. Skenario Use Case melihat daftar mata kuliah

Skenario *Use Case* melihat daftar mata kuliah ini merupakan kegiatan yang dilakukan oleh *user* yang valid untuk menampilkan daftar mata kuliah yang user ampu. Skenarionya dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Skenario Use Case melihat daftar mata kuliah

Use case name	Melihat daftar mata kuliah
Participating actor	User
Flow of events	Aktor login dengan username dan password Aktor mengklik menu Login Sistem men-validasi data username dan password
Entry condition	User login ke sistem
Exit conditions	Sistem menampilkan daftar mata kuliah diampu

3. Skenario use case melihat daftar mahasiswa

Skenario *Use Case* melihat daftar mahasiswa ini merupakan kegiatan yang dilakukan oleh *user* untuk melihat daftar mahasiswa setiap matakuliah yang diampu. Skenarionya dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Skenario Use Case Melihat Daftar Mahasiswa

Use case name	Melihat daftar mahasiswa
Participating actor	User
Flow of events	Aktor memilih mata kuliah di halaman mata kuliah. Sistem menampilkan list daftar mahasiswa berdasarkan mata kuliah
Entry condition	User memilih mata kuliah
Exit conditions	Sistem menampilkan list data
Quality requirements	Aplikasi akan menampilkan data yang baru diisi

1. Skenario use case meng-input data presensi

Skenario ini merupakan kegiatan yang dilakukan oleh *user* untuk melakukan presensi terhadap kehadiran mahasiswa dengan NFC. Skenarionya dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Skenario Use Case meng-input data presensi

Use case name	Meng-input data presensi
Participating actor	User
Flow of events	Aktor memilih nama mahasiswa di halaman daftar mahasiswa Sistem menampilkan halaman presensi Aktor meng-klik tombol "Touch" untuk men-scan ID card mahasiswa Aktor men-touch ID-card dengan perangkat mobile NFC Sistem akan menampilkan update status kehadiran di halaman presensi
Entry condition	User memilih halaman daftar matakuliah
Exit conditions	Sistem menampilkan perubahan status presensi

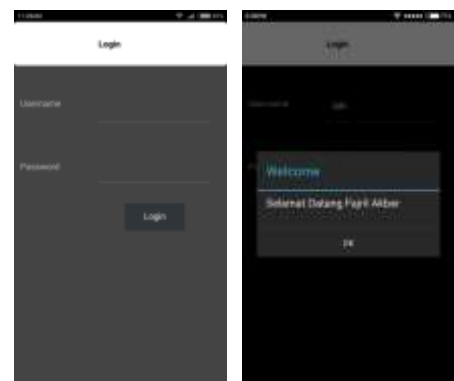
halaman implementasi dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 antar muka splashscreen

2. Antarmuka Login

Halaman ini muncul setelah splashscreen. Halaman ini menampilkan form login user dan tombol Login. User yang berhasil divalidasi oleh sistem akan melihat *popup* "Welcome" dan sebaliknya, user yang tidak valid akan menerima *popup* error yang terjadi. Gambar 10 melihat hasil rancangan halaman login.



Gambar 10 Antar muka login

3. Antarmuka daftar mahasiswa

Halaman ini akan menampilkan daftar mahasiswa berdasarkan matakuliah yang dipilih sebelumnya. Pada bagian header juga ditampilkan nama mata kuliah yang terpilih. Tampilan dari halaman daftar mahasiswa dapat dilihat di gambar 11.

5 Implementasi dan Pengujian Sistem

5.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dari aplikasi ini terdiri dari implementasi antar muka, perangkat keras dan perangkat lunak. MySQL digunakan sebagai database pada sistem presensi ini. Antar muka aplikasi dan pemograman aplikasi dibangun menggunakan Basic4Android dan PHP.

Implementasi Antarmuka Aplikasi

Implementasi antarmuka aplikasi merupakan penerapan dari perancangan antarmuka yang telah dilakukan sebelumnya. Tampilan aplikasi di bangun dengan menggunakan fitur designer dari Basic4Android. Dalam implementasi antar muka ini akan disajikan beberapa antar muka aplikasi yang telah dibangun.

1. Splashscreen

Splashscreen merupakan halaman pertama yang akan tampil ketika aplikasi dijalankan. Halaman ini berisi tentang informasi singkat terkait aplikasi. Hasil implementasi dari



Gambar 11 antar muka daftar mahasiswa

4. Antar muka presensi

Antar muka ini menampilkan halaman interaksi antara sistem dengan perangkat NFC dan kartu RFID mahasiswa. Pada bagian header menampilkan data mahasiswa dan matakuliah sedangkan bagian footer menyajikan status presensi dan waktu. Hasil dari halaman presensi ini dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12 antar muka presensi

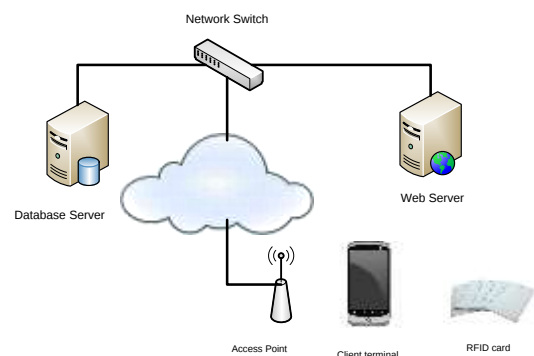
Implementasi Perangkat Keras:

Implementasi sistem terdiri dari infrastruktur perangkat keras dan perangkat lunak. Semua perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terhubung menggunakan protokol komunikasi TCP/IP. Arsitektur three-tier client server diterapkan dalam sistem ini untuk memisahkan antara logika aplikasi dan manajemen data.

Spesifikasi perangkat keras yang digunakan dalam sistem ini adalah

1. Web dan Database server
 - Mini PC Raspberry pi 2
 - Storage 16 GByte
2. Client Terminal berupa *Smartphone* Mi 3 dengan NFC terintegrasi
3. *Wire and wireless Network Switch*

Arsitektur dari semua perangkat keras dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 arsitektur perangkat keras

Implementasi Perangkat Lunak

Pada penelitian ini digunakan beberapa perangkat lunak dalam pembangunan aplikasi dan implementasinya. Dalam tahap pembangunan aplikasi Android digunakan Basic4 Android dari Anywhere Software. Sedangkan dalam tahapan implementasi, spesifikasi perangkat lunak yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Server side :
 - Sistem operasi menggunakan Raspbian OS
 - Database server menggunakan MySQL
 - Web server menggunakan Apache yang telah didukung dengan PHP
1. Client side
 - Perangkat *mobile* dengan sistem operasi Android dengan Android SDK minimal versi 10.

Implementasi pemrograman pada perangkat Android

Program aplikasi dibangun dengan menggunakan Basic4Android. Program yang dibangun hanya

untuk platform Android. Hasil dari beberapa implementasi program yang dibuat akan dilihatkan dalam bentuk potongan-potongan script program.

1. User dapat login ke sistem.

Potongan program ini berfungsi untuk proses validasi user dengan sistem. Jika user mengentrykan data username dan password yang valid, maka sistem akan menampilkan *popup* "Selamat Datang nama user". Jika data tidak valid akan menampilkan notifikasi kesalahan user. Gambar 14 merupakan potongan script untuk proses login user.

```

83 Sub Login_Click
84   username = UserEdit.Text
85   password = PasswordEdit.Text
86   If username = "" Then
87     MsgBox("Username tidak boleh kosong", "Warning")
88   End If
89   If password = "" Then
90     MsgBox("Password tidak boleh kosong", "Warning")
91   End If
92   LoginIn
93 End Sub
94 Sub LoginIn
95   ProgressDialog.Show("Loading...")
96   ExecuteRemoteQuery ("SELECT * FROM user WHERE name = '" & username & "' AND pwd = '" & password & "'")
97 End Sub
98 Sub ExecuteRemoteQuery (Query As String, JobName As String)
99   Dim job As Job
100  Job.Initialize(JobName, Me)
101  Job.PostString("http://192.168.1.151/canoparsing.php", Query)
102 End Sub

```

Gambar 14 potongan script proses login

2. User dapat melihat daftar mata kuliah

Pada potongan program ini, sistem dapat menampilkan semua daftar matakuliah yang di kelola oleh user. Sistem akan menampilkan hasil *query* mata kuliah ke *database server* dalam bentuk urutan (list). Gambar 15 merupakan potongan program untuk menampilkan daftar mata kuliah

```

71 Sub JobDone(Job As Job)
72   ProgressDialog.Hide
73   If Job.Success Then
74     Dim ret As String
75     ret = Job.GetString
76     Log("Response from server: " & ret)
77     Dim parser As JOOParser
78     parser.Initialize(ret)
79     Select Job.JobName
80     Case "Get"
81       Dim mdata As List
82       mdata = parser.ReturnArray
83       For i = 0 To mdata.Count - 1
84         Dim m As Job
85         m = mdata.Get(i)
86         Dim mdata As List
87         mdata = mdata.Get("username")
88         mdata = mdata.Get("password")
89         mdata = mdata.Get("username")
90         mdata = mdata.Get("password")
91       Next
92     End Select

```

Gambar 15 script menampilkan daftar mata kuliah

3. User dapat melakukan presensi. Program ini berfungsi untuk mengaktifkan perangkat NFC dan membaca data ID dari kartu RFID yang di-tag. ID yang terbaca akan dibandingkan dengan ID yang ada di

sistem dan mengubah status ID tersebut di server database sistem. Gambar 16 memperlihatkan potongan program mengaktifkan perangkat NFC.

```

150 Else If NFC.Enabled Then
151   NFCBtn.Text = "Tap Here"
152   NFCBtn.Color = Colors.RGB(110, 199, 244)
153   NFCBtn.Visible = True
154   NFCBtn.Enabled = False
155   NFCBtn.BringToFront
156 Else
157   NFCBtn.Text = "NFC Off - " & CR & "Click to activate NFC"
158   NFCBtn.Color = Colors.RGB(190, 220, 51)
159   NFCBtn.Visible = True
160   NFCBtn.BringToFront
161 End If
162
163 ' Enable NFC Foreground Dispatch System
164 NFC.EnableForeground
165
166 If NFC.IsNearIntentFilter(GetStartingIntent) Then
167   Dim KID(ID) As Byte
168   Dim ID As String
169   Dim converter As ByteConverter
170   KID = NFC.TagID(GetStartingIntent)
171   converter = StringFromBytes(KID, ID)
172   ToastMessageShow(ID, True)
173 End If

```

Gambar 16 script mengaktifkan perangkat NFC

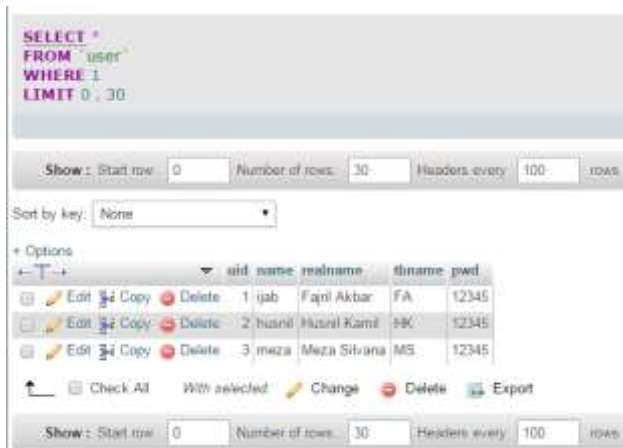
5.2 Pengujian Aplikasi

Pengujian sistem dilakukan dengan Black Box testing. Pada black box testing, pengujian aplikasi dilakukan oleh tester berdasarkan kebutuhan fungsional perangkat lunak. Pengujian ini dilakukan berdasarkan 5 kebutuhan fungsional aplikasi yang telah dirancang sebelumnya.

Pada pengujian kebutuhan fungsional user melakukan login dilakukan tester dengan menggunakan username dan password yang valid maupun tidak valid. Pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 8. Gambar 17 merupakan hasil query SQL pada database dan gambar 18 menunjukkan screenshot hasil pengujian.

Tabel 8 Pengujian Login user

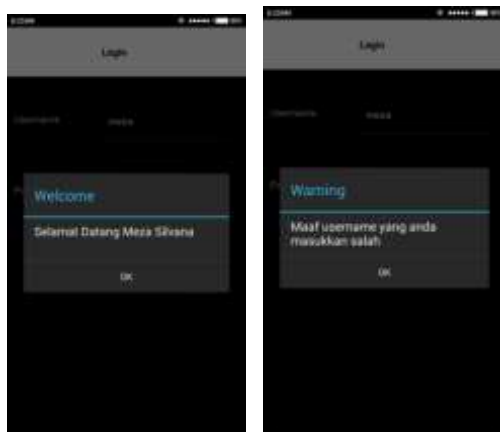
Aksi	User memasukkan username "meza" dan password "12345" dan "12345z"
Ekpektasi	Sistem akan memvalidasi data yang dimasukkan dan merespon dengan memberikan notifikasi
Hasil	Terpenuhi



Gambar 16 query SQL data user pada database



Gambar 19 query SQL data user pada database



Gambar 16 hasil pengujian login



Gambar 20 hasil pengujian daftar mahasiswa mata kuliah e-government

Pada pengujian kebutuhan fungsional user melihat daftar mahasiswa per mata kuliah dilakukan tester dengan memilih mata kuliah yang ditampilkan sistem. Pengujian tersebut dapat dilihat pada tabel 9. Gambar 19 merupakan hasil query SQL pada database. Subcode "1" merupakan ID matakuliah dari e-government. Gambar 20 menunjukkan tampilan output dari sistem.

Tabel 8 Pengujian Login user

Aksi	User login dengan username "ijab" dan password "12345" dan kemudian memilih mata kuliah e-government
Ekpektasi	Sistem akan menampilkan daftar mahasiswa mata kuliah e-government
Hasil	Terpenuhi

6 Kesimpulan

1. Aplikasi mobile presensi dengan perangkat mobile NFC dan kartu RFID telah dibangun. Pada tahap perancangan telah dilakukan analisis terhadap kebutuhan aplikasi, dan kemudian telah di rumuskan 5 kebutuhan fungsional aplikasi dan 4 kebutuhan non-fungsional. Analisa kebutuhan juga dirancang dalam use-case diagram, context diagram maupun data-flow level 1 diagram. Pada tahap perancangan juga telah ditentukan desain antar muka, arsitektur sistem dan perancangan proses.
2. Pada tahap implementasi telah di bangun antar muka dan pemograman perangkat lunak dengan menggunakan Basic4Android.
3. Pengujian yang dilakukan menggunakan black box testing terhadap 4 kebutuhan fungsional aplikasi.

7 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Universitas Andalas melalui Program Penelitian Dosen Pemula tahun 2015, No Kontrak : 13/UN.16/PL/DM/2015.

8 Daftar Pustaka

- [1] NFCWorld. About NFC. url: <http://www.nfc-world.com/en/about/01.html>. 2014. Diakses 19 Maret 2015
- [2] IDC, Smartphone OS Market Share, 2015 Q2. url: <http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>. 2015. Diakses 19 September 2015
- [3] Handojo, A., Andjarwirawan, J, dan WONODIHARDJO, J. (2013). Aplikasi Presensi Kelas Kuliah Dengan Near Field Communication (NFC) Pada Android (Doctoral dissertation, Petra Christian University).
- [4] Chien-wen Shen, Yen-Chun Jim Wu, Tsung-che Lee, Developing a NFC-equipped smart classroom: Effects on attitudes toward computer science, *Computers in Human Behavior*, Volume 30, January 2014, Pages 731-738.
- [5] Marcos J. López Fernández, Jorge Guzón Fernández, Sergio Ríos Aguilar, Blanca Salazar Selvi, Rubén González Crespo, Control of attendance applied in higher education through mobile NFC technologies, expert Systems with Applications, Volume 40, Issue 11, 1 September 2013, Pages 4478-4489
- [6] Andreas Prinz, Philipp Menschner, Jan Marco Leimeister, *Electronic data capture in healthcare—NFC as easy way for self-reported health status information*, *Health Policy and Technology*, Volume 1, Issue 3, September 2012, Pages 137-144
- [7] Abdulhadi Alqarni, Maali Alabdulhafith, Srinivas Sampalli, *A Proposed RFID Authentication Protocol based on Two Stages of Authentication*, *Procedia Computer Science*, Volume 37, 2014, Pages 503-510.
- [8] Coskun V, Ozdenizci B, Ok K. *A Survey on Near Field Communication (NFC) Technology*. *Wireless Personal communications*, 2013, 71(3):2259-2294.
- [9] Lahtela A, Hassinen M, Jylha V. *RFID and NFC in healthcare: Safety of hospitals medication care*. *Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2008. *PervasiveHealth 2008*. Second International Conference on. 2008. p.241-244
- [10] NFCForum. *About the Forum*, url: <http://www.nfc-forum.org/aboutus/>. 2014. Diakses 19 Maret 2014
- [11] NFCWorld. *About NFC*. url: <http://www.nfc-world.com/en/about/01.html>. 2014. Diakses 19 Maret 2014

Identifikasi Sistem Turbin Gas Menggunakan Metode Analisis Korelasi dan Algoritma Realisasi

Dody Azhar Hariyadi^{*}), Dwindra Wilham Maulana^{**}), Amrizal Nainggolan, Naila Zahra, Syaina Ulfah Azhara, Azka Muji Burohman, Cahyoni Marhanani, Ardian Primadi & Augie Widyotriatmo^{***})

Program Studi Instrumentasi dan Kontrol, FTI, ITB Jl. Ganesha 10, Bandung 40132,

Jawa barat , Indonesia

(corresponding author) dody.azhar@gmail.com^{*})

dwindramaulana@gmail.co

Abstrak

Makalah ilmiah ini membahas pemodelan sistem sebuah Turbin Gas 1.2 PLTGU Grati. Turbin Gas merupakan salah satu sistem yang kompleks. Pemodelan dilakukan dengan cara mengidentifikasi sistem berdasarkan hubungan input dan output. Dilakukan pengamatan data input-output selama empat hari. Data input yang digunakan adalah berupa data governor bahan bakar, sedangkan data output didapatkan dari pengukuran rpm dan daya. Mula-mula, dari informasi input dan output dilakukan identifikasi non-parametrik untuk menghasilkan representasi sistem berupa respon impuls dengan menggunakan metode analisis korelasi. Selanjutnya, dari respon impuls yang didapatkan tersebut dilakukan realisasi untuk mendapatkan estimasi fungsi transfer dari sistem Turbin Gas.

Kata Kunci: identifikasi sistem, parametrik, non parametrik, analisis korelasi, realisasi.

Pada makalah ilmiah ini akan dibahas pemodelan turbin gas dengan menggunakan metode analisis korelasi dan algoritma realisasi berdasarkan data input-output operasional dari suatu turbin gas 1.2 PLTGU Grati Pasuruan, tipe mesin 701D buatan Mitsubishi Heavy Industry. Identifikasi sistem dilakukan menggunakan metode analisis korelasi yang menghasilkan representasi sistem berupa respon impuls [1]. Selanjutnya dilakukan realisasi dengan mula-mula menentukan matriks Hankel agar dapat dilakukan perhitungan *Singular Value Decomposition* (SVD) untuk mendapatkan estimasi orde sistem dan fungsi transfer sistem turbin gas. Estimasi fungsi transfer turbin gas yang diperoleh tersebut dapat memberikan representasi dari dinamika sistem. Validasi model dilakukan dengan cara memasukkan data input operasional harian pada model hasil identifikasi sistem, sehingga didapatkan estimasi output yang kemudian dibandingkan dengan output terukur turbin gas.

1 Pendahuluan

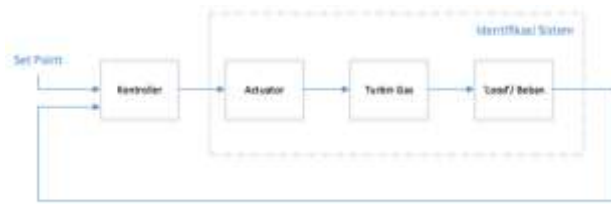
Turbin gas merupakan suatu mesin yang banyak digunakan untuk aplikasi industri maupun transportasi. Salah satu pemakaian turbin gas adalah untuk membangkitkan tenaga listrik. Pengoperasian dari turbin gas yang kompleks membutuhkan suatu kontrol yang tepat dan efisien. Untuk membuat hal tersebut, dibutuhkan suatu pemodelan dari turbin gas tersebut.

Pemodelan turbin gas telah banyak dilakukan sebelumnya, diantaranya memakai metode matematis sederhana dengan model yang dikembangkan berdasarkan data eksperimen pada *power plant turbin* [2]. Metode tersebut valid pada daerah operasi tertentu. Pemodelan turbin gas lainnya dilakukan dengan menggunakan model terstruktur ARX dengan identifikasi parameter didapatkan dari percobaan input-output dari model yang telah disusun sebelumnya [3][4].

2 Deskripsi Sistem

Suatu sistem memiliki karakteristik statis dan dinamis yang bisa berubah seiring waktu dikarenakan adanya penurunan performa setiap subsistem, maupun akibat adanya penggantian komponen di sistem tersebut. Perubahan ini juga dipengaruhi oleh pola pengoperasian dan *maintenance*. Identifikasi sistem/pemodelan diperlukan untuk dapat mengevaluasi sistem, seperti seberapa optimal sistem kontrol pada sistem.

PLTGU Grati-Pasuruan milik PT. Indonesia Power telah berdiri sejak tahun 1995 dan berumur kurang lebih 20 tahun. Identifikasi sistem dilakukan pada *Turbin Gase* GT 1.2. Turbin gas tersebut beroperasi 24 jam dengan bahan bakar gas. Profil *load* atau beban per-hari mengikuti beban sistem Jamali (Jawa-Madura-Bali) dan ketersediaan suplai bahan bakar gas. Blok diagram turbin gas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok turbin gas

Identifikasi sistem turbin gas dilakukan dengan menggunakan data input dan output sistem. Data Input merupakan nilai keluaran pengontrol. Nilai keluaran tersebut menunjukkan pengaturan bukaan aktuator/valve bahan bakar turbin gas. Data output yang digunakan merupakan nilai daya yang dihasilkan oleh turbin gas, dalam hal ini parameter daya terkait nilai torsi dan beban turbin gas. Pengambilan data dilakukan selama empat hari untuk keperluan identifikasi dan data dua hari berikutnya untuk keperluan validasi model.

3 Deskripsi Metoda Identifikasi

Pada bagian ini akan dibahas metode identifikasi sistem yang akan digunakan pada makalah ini yaitu analisis korelasi dan algoritma realisasi.

3.1 Analisis Korelasi

Metoda analisis korelasi adalah salah satu metoda identifikasi sistem non-parametrik. Dengan metoda ini, data input-output sistem digunakan untuk mengestimasi respon impuls sistem.

Suatu sistem dapat didefinisikan dengan persamaan (1).

$$y(t) = G_0(z)u(t) + v(t) \quad (1)$$

Dengan $G_0(z)$ adalah fungsi transfer sistem, input $u(t)$ dan noise $v(t)$. Representasi sistem dapat dituliskan juga dalam bentuk konvolusi seperti pada persamaan (2).

$$y(t) = \sum_{k=0}^{\infty} g_0(k)u(t-k) + v(t) \quad (2)$$

Dimana $g_0(k)$ adalah respon impuls dari sistem G_0 .

Dengan asumsi bahwa noise $v(t)$ tidak berkorelasi dengan input $u(t)$, maka diperoleh persamaan Wiener-Hopf pada persamaan (3).

$$R_{yu}(\tau) = \sum_{k=0}^{\infty} g_0(k)R_u(\tau-k) \quad (3)$$

Dengan R_{yu} adalah kovarian input-output dan R_u adalah autokovarian input. Dalam kasus input $u(t)$ adalah *white noise*, autokovarian input akan bernilai 1 hanya pada $\tau=0$.

$$R_u(\tau) = \sigma_u^2 \delta(\tau) \quad (4)$$

Dimana σ_u^2 varian input $u(t)$ dan $\delta(\tau)$ fungsi impulse. Dari persamaan (3) dan (4) diperoleh estimasi respon impuls.

$$\hat{g}(\tau) = \frac{\hat{R}_{yu}(\tau)}{\sigma_u^2} \quad (5)$$

Dimana $\hat{R}_{yu}$ adalah estimator kovarian input-output dengan jumlah data pengukuran yang terbatas.

Dalam kasus input $u(t)$ bukan *white noise*, filter $L(z)$ akan diterapkan pada input dan output sebagai *pre-whitening filter*.

$$u_F = L(z)u(t) \quad (6)$$

$$y_F = L(z)y(t)$$

Sehingga dari persamaan (1) dan (6) akan didapatkan:

$$y_F = G_0(z)u_F(t) + L(z)v(t) \quad (7)$$

Dengan demikian respon impuls $g_0(k)$ dapat diestimasi menggunakan data input-output yang telah terfilter.

3.2 Algoritma Realisasi

Suatu sistem dapat direpresentasikan dengan model ruang keadaan seperti pada persamaan (8).

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Ax(k) + Bu(k) \\ y(k) &= Cx(k) + Du(k) \end{aligned} \quad (8)$$

Atau dalam bentuk fungsi transfer,

$$G(z) = \sum_{k=0}^{\infty} g(k)z^{-k} = D + C(zI - A)^{-1}B \quad (9)$$

Dari persamaan (9), matriks D dapat diperoleh dari respon impuls untuk $k=0$.

$$g(k) = \begin{cases} D & k = 0, \\ CA^{k-1}B & k \geq 1. \end{cases} \quad (10)$$

Dibuktikan bahwa matriks A , B dan C dapat diperoleh dari respon impuls untuk $k \geq 1$

menggunakan matriks Hankel pada persamaan (11)[5].

$$H_{r,c} = \begin{bmatrix} g(1) & g(2) & \dots & g(c) \\ g(2) & g(3) & \dots & g(c+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(r) & g(r+1) & \dots & g(r+c-1) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Dari persamaan (10) matriks Hankel juga dapat dituliskan

$$H_{r,c} = \begin{bmatrix} C \\ CA \\ \vdots \\ CA^{r-1} \end{bmatrix} [B \quad AB \quad \dots \quad A^{c-1}B] \quad (12)$$

Solusi untuk persamaan (11) dan (12) didapatkan menggunakan *Singular Value Decomposition* (SVD) [6]. Dimana matriks Hankel dapat dituliskan menjadi,

$$H_n = U_n \Sigma_n V_n^T \quad (13)$$

Dimana U_n dan V_n adalah n kolom pertama dari matriks unitary U dan V ($U_n^T U_n = V_n^T V_n = 1$), dan Σ_n adalah diagonal matriks dengan n nilai pertama yang signifikan dari matriks diagonal dekomposisi nilai singular Σ .

Lebih lanjut persamaan (13) dapat dituliskan sebagai berikut,

$$H_n = U_n \Sigma_n^{1/2} \Sigma_n^{1/2} V_n^T \quad (14)$$

Dari persamaan (14) diperoleh,

$$B: \text{kolom pertama dari } H_2 = \Sigma_n^{1/2} V_n^T \quad (15)$$

$$B: \text{baris pertama dari } H_1 = U_n \Sigma_n^{1/2} \quad (16)$$

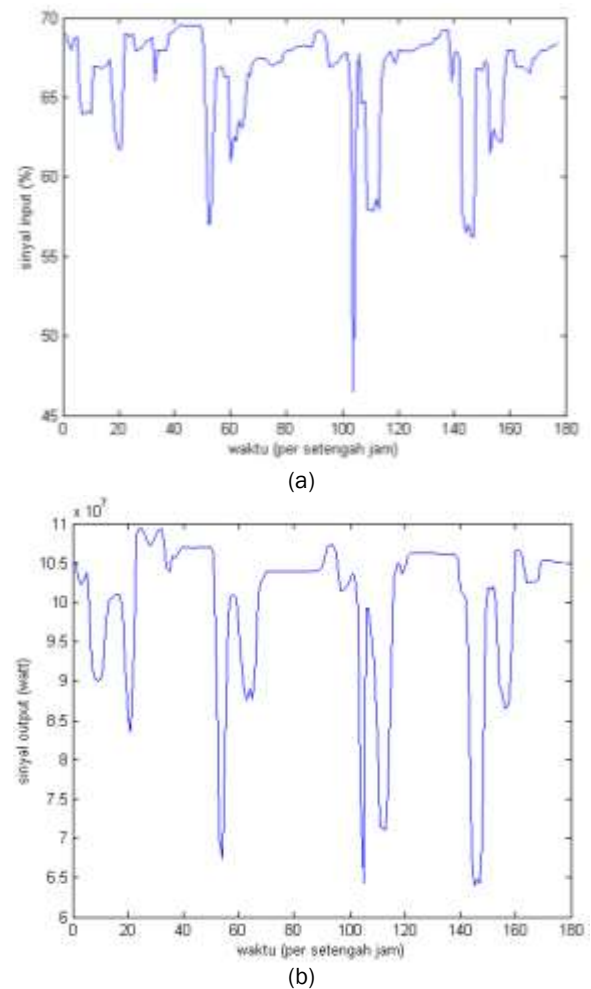
$$A = \Sigma_n^{-1/2} U_n^T \tilde{H} V_n \Sigma_n^{-1/2} \quad (17)$$

Dengan,

$$\tilde{H}_{r,c} = \begin{bmatrix} g(2) & g(3) & \dots & g(c+1) \\ g(3) & g(4) & \dots & g(c+2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g(r+1) & g(r+2) & \dots & g(r+c) \end{bmatrix} \quad (18)$$

4 Simulasi dan Diskusi

Pengamatan dilakukan selama empat hari dengan waktu pengambilan sampel setiap 30 menit. Data mentah yang berupa input dan output ini diolah dengan metode analisis korelasi untuk mendapatkan estimasi dari respon impuls. Data input dan output yang diambil langsung dari pengukuran di lapangan diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Data input, (b) Data output turbin gas

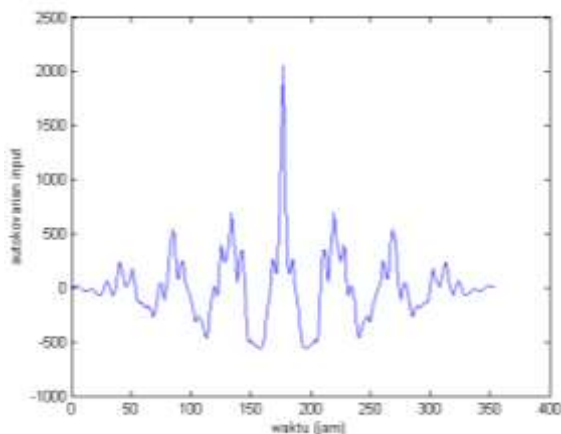
4.1 Analisis Korelasi pada Turbin Gas

Data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis korelasi adalah input yang memiliki sifat *white-noise* dan barisan data output yang merupakan fungsi dari input. Pada Gambar 3 terlihat bahwa sinyal input belum memiliki sifat *white noise*, sehingga perlu dilakukan *pre-whitening filter*. Sesuai persamaan (6), dalam identifikasi ini filter

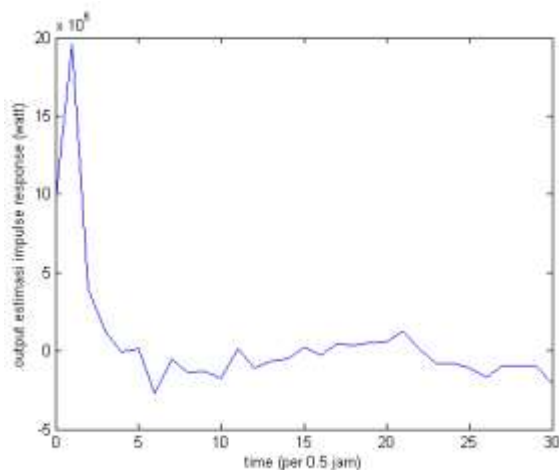
pre-whitening $L(z)$ yang diterapkan pada data input $u(k)$ memiliki orde $n=30$. Sehingga diilustrasikan filter tersebut adalah dengan persamaan (19)

$$L(z) = 1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2} + \dots + a_{30} \cdot z^{-30} \quad (19)$$

Gambar 4 menunjukkan estimasi respon impuls yang merupakan penyelesaian dari persamaan (5).



Gambar 3. Autokovarians dari sinyal input



Gambar 4. Estimasi respon impuls hasil analisis korelasi

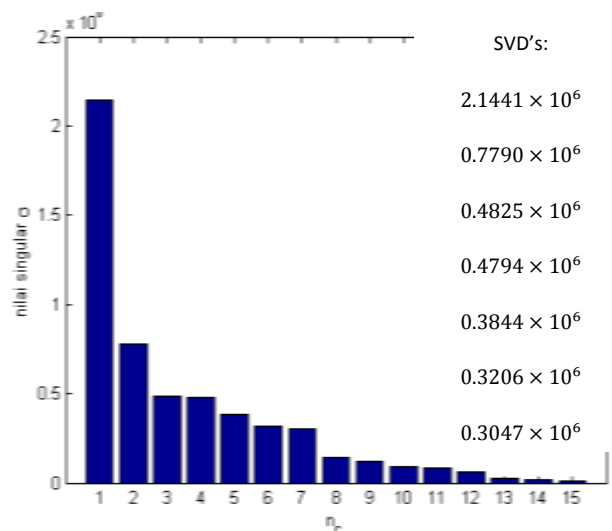
4.2 Model Parametrik Turbin Gas dengan Algoritma Realisasi

Dari hasil estimasi respon impuls sebelumnya, dibentuk matriks Henkel seperti pada persamaan (11) dengan ukuran 15×15 . Dengan SVD didapat nilai-nilai singular seperti pada Gambar 5. Hasil SVD menunjukkan bahwa hanya terdapat satu

nilai yang dominan atau bernilai tidak nol secara signifikan yaitu $2,1441 \times 10^6$. Dari nilai tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai orde dari model yang akan ditentukan secara parametrik adalah $n = 1$. Nilai singular (σ) pada kolom kedua matriks dan seterusnya bisa dianggap terlalu jauh dibandingkan dengan nilai singular pada kolom pertama, sehingga tidak akan berpengaruh signifikan pada model. Setelah ditentukan orde dari model yang akan dibuat adalah orde satu, maka dapat ditentukan nilai-nilai dari parameter A, B, C, dan D pada bentuk umum sistem ruang keadaan dengan persamaan (15), (16) dan (17). Sehingga persamaan model ruang keadaan turbin gas yang diperoleh dari hasil estimasi diberikan pada persamaan (20)

$$x(k+1) = 0,2385 x(k) - 1394,4 u(k) \quad (20)$$

$$y(k) = -1394,4 x(k) + 949270 u(k)$$

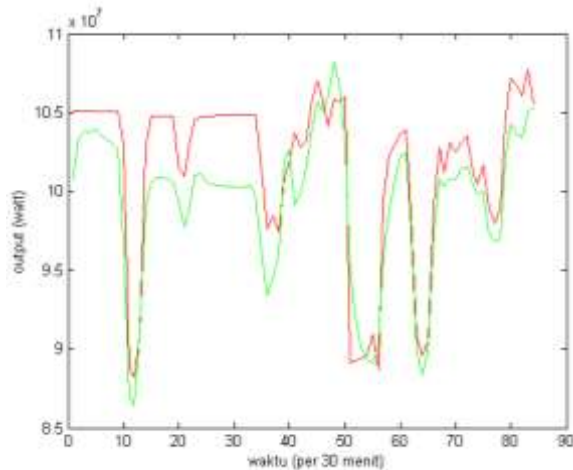


Gambar 5. Hasil SVD untuk penentuan orde sistem

4.3 Validasi Model

Untuk memvalidasi hasil dari identifikasi sistem digunakan data turbin gas selama dua hari dengan periode sampling 30 menit. Perbandingan antara estimasi output identifikasi sistem dan data output hasil pengukuran di lapangan dapat dilihat pada Gambar 6. Grafik berwarna hijau menunjukkan estimasi output, sedangkan grafik berwarna merah menunjukkan data output pengukuran. Dapat dilihat bahwa estimasi output memiliki representasi yang serupa dengan nilai pengukuran sebenarnya. Nilai *root mean square* galat dari kedua nilai tersebut adalah 2,88 %. Puncak-puncak yang terdapat pada grafik pun

menunjukkan dinamika yang bersesuaian. Puncak pada grafik output pengukuran di lapangan dan output simulasi dapat ditemukan pada waktu-waktu yang sama, yaitu $t = 11, 20, 35, 57, 65$, dan 78 .



Gambar 6. Perbandingan estimasi output dan output terukur

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil identifikasi sistem dan validasi model, dapat disimpulkan bahwa estimasi model parametrik yang disusun dari analisis korelasi dan algoritma realisasi cukup merepresentasikan sistem turbin gas. Dengan didapatkannya model parametrik tersebut maka pemahaman lebih lanjut mengenai dinamika turbin gas dapat dikembangkan, khususnya secara matematis. Identifikasi sistem ini dapat menghasilkan estimasi yang lebih baik dengan memperkecil waktu sampling data input output.

6 Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Tim Pemeliharaan Kontrol Instrumen PT. Indonesia Power UBP Perak Grati atas data yang telah disediakan untuk keperluan identifikasi sistem ini.

7 Daftar Pustaka

- [1] Lennart Ljung, "System Identification: Theory for the user", PTR Prentice Hall, 1987. (references)
- [2] W. I. Rowen, "Simplified Mathematical Representation of Heavy-Duty Turbin Gases", ASME J. Eng. Power, vol. 105, pp. 865-869, 1983
- [3] Zoleikha Abdollahi, Maryam Hantehzadeh, Ali K. Sedigh, "Multilinear Modelling and Identification of the V94.2 Turbin Gase for Control System Design Purposes," IEEE Conference Publications, Pages: 295 - 300, DOI: 10.1109/ EMS.2010.55, 2010
- [4] Widiana H. Imania, Katherin Indriawati, Ya'umar, "Perancangan pengendalian prediktif berpengawasan pada pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) Gresik dengan metode desentralisasi" Jurnal Teknik POMITS vol.1 No.1 pp 1-6, 2012
- [5] B.L. Ho and R.E. Kalman, "Efficient construction of linear state variable models from input/output functions," Regelungstechnik, vol. 14, pp. 545-548, 1966.
- [6] H.P. Zieger and J. McEwen, "Approximate linear realizations of given dimansion via Ho's algorithm," IEEE Trans. Automat. Control, vol. AC-19, pp. 153, 1974.

Pemodelan Sistem Terdistribusi Menggunakan Metode Hirarki pada Power Plant Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Ilmi Rizki Imaduddin & Hendi Purnata

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email: hendipurnata@gmail.com

Abstrak

Sistem kendali berhirarki biasanya untuk mengatasi suatu sistem pengendalian yang kompleks. Prinsip sistem kendali kompleks tidak bisa diterapkan langsung secara efektif dan efisien hal ini disebabkan oleh sistemnya terlalu besar dan permasalahan terlalu kompleks. Sistem kendali berhirarki mempunyai input dan output berjumlah besar. Pada sistem kendali berhirarki, komponennya melakukan berbagai macam interaksi dinamis dan sistem ini mendapatkan bermacam-macam gangguan. Model matematis dari sistem ini mempunyai orde dinamik yang besar dan mencakup banyak parameter sistem. Pencarian alternative dalam kendali suatu sistem berdimensi besar akan menyebabkan pembagian keseluruhan dalam sub-sub permasalahan. Hasil dari penelitian ini sistem mempunyai input langsung menjadi *output* (throughput) syarat input dan outputnya *reachable* sehingga sistem bisa dikatakan *controllable* dan *observable*. Untuk menghasilkan sistem stabil di ketahui bahwa persamaan karakteristik dari sistem tersebut berada di sebelah kiri bidang S. Pada penelitian ini terdapat satu eigen value yang berada di sebelah kanan bidang S maka distabilkan menggunakan pengendalian terdesentralisasi dengan memberikan kompensator

Keyword: sistem kompleks, hirarki, desentralisasi, PLTU

1 Pendahuluan

Teknologi yang telah berkembang pesat, dalam sistem kontrol ada beberapa hal yang tidak bisa mengatasi prinsip efisiensi dan efektifitas. Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) pada sistem kendali bertujuan agar suatu sistem bekerja bersamaan untuk mencapai efisiensi dan efektifitas, akan tetapi dalam sistem (MIMO) kurang bisa diaplikasikan.

Sistem kendali skala besar pertama kali dikenalkan pada tahun 1960 oleh Dantzing dan Wolfe yang mendekomposisikan permasalahan pemrograman linear. Kemudian dikembangkan dengan pendekatan *multilevel* oleh Mesarovic tahun 1970 dan Cohen tahun 1978. Sistem skala besar mempunyai sejumlah input dan output dengan komponennya melakukan berbagai interaksi dinamis. Sistem ini melalui sistem lingkungannya mempunyai orde dinamik yang besar dan mencakup banyak parameter sistem.

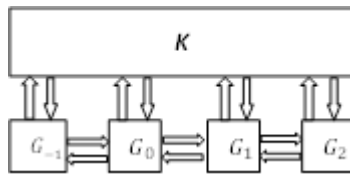
Ide tentang sistem skala besar datang pada saat permasalahan kendali yang pada praktiknya tidak dapat diterapkan secara efisien oleh prinsip dan metode sistem *multivariable*. Beberapa ilustrasi seperti pada sistem tenaga multiarea dengan beberapa unit pembangkit tenaga yang mendistribusikan daya listrik ke banyak tempat, sistem *coupled water reservoir* yang sarat dengan kompleksitas interaksi dinamis antar *reservoir*, proses pembuatan semen dan *power plant*.

Kesulitan untuk mengendalikan suatu sistem berdimensi besar menyebabkan lebih menguntungkan untuk membagi keseluruhan permasalahan ke dalam sub-sub permasalahan yang lebih kecil untuk kemudian dipecahkan secara terpisah dan digabungkan kembali solusi-solusinya untuk mendapatkan suatu solusi global. Sub-sub permasalahan tersebut tidak sepenuhnya independen. Beberapa koordinasi atau modifikasi solusi dari sub-sub permasalahan tersebut dibutuhkan untuk mengatur hubungan antar setiap sub permasalahan. Upaya ini dibutuhkan untuk menyesuaikan sub-sub permasalahan tersebut dalam suatu sistem komputasi terdistribusi. Karena itu dibutuhkan konsep dan teknik untuk memformulasikan suatu permasalahan dan memecahkan sub permasalahan tersebut sebagai suatu sistem pengendalian terdistribusi (*Distributed Control System/DCS*).

2 Diskusi

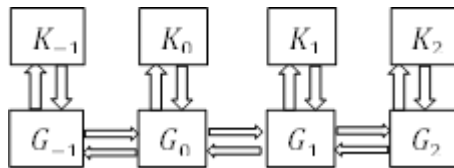
2.1 Strategi Pengendalian

Pada sistem dan kontrol terdapat beberapa strategi pengendalian dalam hirarki agar suatu sistem tersebut dapat didekomposisikan yaitu sistem yang besar menjadi beberapa sub sistem yang relative kecil yang terinterkoneksi satu sama lain.



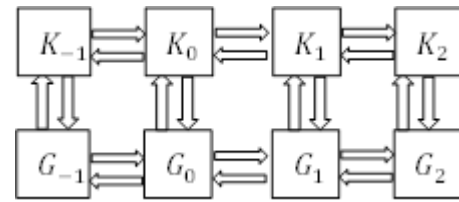
Gambar 1 sistem sentralisasi

Sistem sentralisasi merupakan sistem dimana suatu element-elementnya berpusat. kelebihan sistem ini adalah dimana gain K atau pusat sentralisasi untuk mengambil suatu keputusan tidak berpengaruh kepada siapa pun.



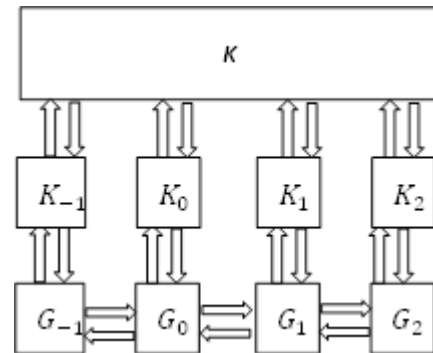
Gambar 2 sistem desentralisasi

sistem desentralisasi merupakan suatu sistem yang mempunyai gain K sendiri untuk mengatur suatu sub sistem sendiri.



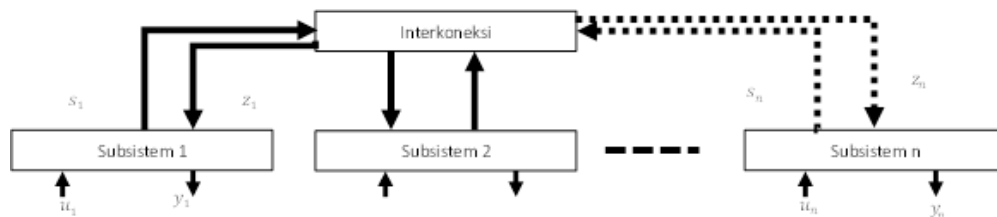
Gambar 3 sistem distribusi

Sistem distriubusi dimana sistem satu dan sistem lain dalam satu jaringan dan saling berkomunikasi.



Gambar 4 sistem multilevel

Sistem multilevel adalah gabungan antara sistem sentralisasi dan disentralisasi dimana terdapat gain K yang dapat mengatur element-element dibawahnya.



Gambar 5 model interaksi

Pada *power plant* PLTU startegi pengendalian menggunakan sistem multilevel dimana dari suatu proses ke proses lain saling berhubungan dan dapat di monitoring agar bisa memperoleh suatu proses yang diinginkan.

2.2 Model Interaksi

Model interaksi pada sistem pengendalian berhirarki dapat dimodelkan dalam bentuk model seperti pada gambar 5. Dengan u_1 = eksternal input ke subsistem 1, y_1 = ekeksenal output dari

susbsistem 1, s_1 = internal input ke subsistem 1 yang menyatakan pengaruh dari subsistem yang lain, z_1 = *internal output* dari subsistem 1 yang mempengaruhi subsistem yang lain dan x_1 = state subsistem 1.

Persamaan model interaksi

$$\dot{x} = A_i x_i + B_i u_i + E_i s_i$$

$$y_i = C_i x_i + D_i u_i + F_i s_i$$

$$z_i = C_{zi}x + D_{zi}u_i + F_{zi}s_i \quad (1)$$

$s = Lz$ dimana $i = 1, 2, 3 \dots N$ = banyaknya subsistem

Bila interaksi antara subsistem lemah ($s=0$), maka:

$$\dot{x} = A_i x_i + B_i u_i$$

$$y_i = C_i x_i + D_i u_i \quad (2)$$

Berarti sistem diatas menjadi subsistem-subsistem yang independent, dengan

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{bmatrix}, s = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_N \end{bmatrix}, z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_N \end{bmatrix} \quad (3)$$

Maka,

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \vdots \\ \dot{x}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & A_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & B_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & B_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} E_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & E_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & E_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

Bila sistem tidak memiliki *throughput* (input langsung menjadi output), maka persamaan menjadi:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx \quad (5)$$

Dengan $A = \text{diag } A_i + (\text{diag } E_i)L \text{diag } C_{zi}$

$$B = \text{diag } B_i$$

$$C = \text{diag } C_i$$

$$D = 0 \quad (6)$$

Model diatas sering dinamakan model input output.

2.3 Dekomposisi Berdasarkan Strongly Coupled Sistem (SCS)

Pada persamaan (1) suatu sistem dapat didekomposisikan menjadi beberapa subsistem-subsistem dengan menyusunnya secara hirarki. Adapun matriks L tersebut adalah

$$L = \begin{pmatrix} L_{11} & L_{12} & \dots & L_{1N} \\ L_{21} & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{N1} & \dots & \dots & L_{44} \end{pmatrix}$$

$$\text{dengan elemen } (L) = \begin{cases} 1 & \text{bila } L_{ij} = 0 \\ 0 & \text{bila } L_{ij} \neq 0 \end{cases} \quad (7)$$

Dengan demikian diperoleh beberapa subsistem dengan interaksi yang diberikan oleh (L). Kemudian diadakan pengaturan ulang terhadap kondisi (L) sehingga diperoleh matrik lower diagonal.

$$L = \begin{bmatrix} L_{11} & 0 & \dots & 0 \\ L_{21} & L_{22} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & L_{33} & \vdots \\ L_{N1} & L_{N2} & \dots & L_{NN} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Pengelompokan tersebut berdasarkan pada graph struktur dari sistem dengan melihat keadaan matrik L, dengan syarat:

1. Dua *Vertex* yang *strongly coupled* berada dalam satu kelas yang ekuivalenya sama
2. Himpunan *vertex* N oleh matrik L didekomposisi menjadi beberapa kelas ekuivalen.
3. Dengan satu transformasi urutan dari *vertex* dan kelasnya dibuat supaya diperoleh L' yang berupa matrik *lower diagonal*
4. $L' = P'LP$

Penelitian ini menggunakan metode hirarki yaitu memodelkan suatu sistem besar dengan menggunakan pengaturan berjenjang kemudian sistem besar didekomposisi menjadi beberapa sub sistem yang relatif kecil sehingga terinterkoneksi satu sama lain. Metode ini diharapkan dapat merancang sistem yang sesuai untuk tiap subsistem dari keseluruhan sistem yaitu baik secara desentralisasi maupun sentralisasi. Metode ini dilakukan dengan pendekatan dengan *fixed mode* desentralisasi dimana untuk menstabilkan sistem dapat dilakukan dengan memberikan kompensator terdesentralisasi.

3 Hasil Penelitian

Pada sistem kendali pada power plant menggunakan signal processing sebagaimana terlihat pada gambar 6 di bawah.

Pada gambar 6 tampak bahwa informasi sebagai berikut:

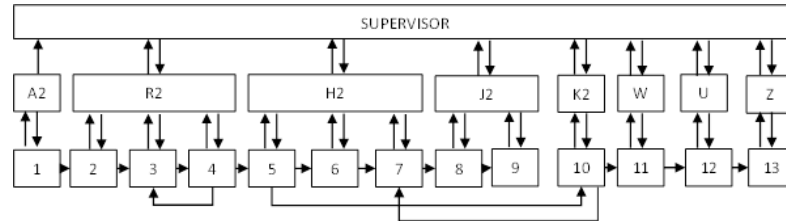
s_2 menginformasikan z_1

s_3 menginformasikan z_2 dan z_5

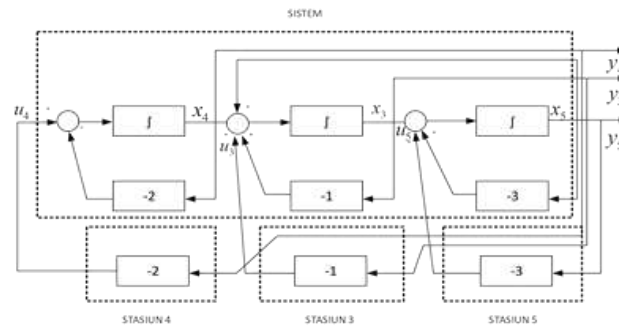
s_4 menginformasikan z_3

s_5 menginformasikan z_3
 s_6 menginformasikan z_5
 s_7 menginformasikan z_6
 s_8 menginformasikan z_7

Dengan kondisi fisik dari subsistem yang terhubung sebagaimana informasi di atas maka dapatlah dibentuk sebuah model subsistem dengan model interaksi sebagai berikut:



Gambar 6 Alirasi Proses pada Power Plant PLTU



Gambar 7 Diagram Blok SCS3 dengan Kompensator Terdesentralisasi statis

1. Subsistem I

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= A_1 x_1 + B_1 u_1 \\ y_1 &= C_1 x_1 + D_1 u_1 \\ z_1 &= C_{z1} x_1 + D_{z1} u_1 \\ L &= 0\end{aligned}$$

2. Subsistem II

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 &= A_2 x_2 + B_2 u_2 + E_2 s_2 \\ y_2 &= C_2 x_2 + D_2 u_2 + F_2 s_2 \\ z_2 &= C_{z2} x_2 + D_{z2} u_2 + F_{z2} s_2 \\ L &= L_{21} z_1\end{aligned}$$

3. Subsistem III

$$\begin{aligned}\dot{x}_3 &= A_3 x_3 + B_3 u_3 + E_3 s_3 \\ y_3 &= C_3 x_3 + D_3 u_3 + F_3 s_3 \\ z_3 &= C_{z3} x_3 + D_{z3} u_3 + F_{z3} s_3 \\ L &= L_{32} z_2 + L_{35} z_5\end{aligned}$$

4. Subsistem IV

$$\begin{aligned}\dot{x}_4 &= A_4 x_4 + B_4 u_4 + E_4 s_4 \\ y_4 &= C_4 x_4 + D_4 u_4 + F_4 s_4 \\ z_4 &= C_{z4} x_4 + D_{z4} u_4 + F_{z4} s_4 \\ L &= L_{43} z_3\end{aligned}$$

5. Subsistem V

$$\begin{aligned}\dot{x}_5 &= A_5 x_5 + B_5 u_5 + E_5 s_5 \\ y_5 &= C_5 x_5 + D_5 u_5 + F_5 s_5 \\ z_5 &= C_{z5} x_5 + D_{z5} u_5 + F_5 s_5 \\ L &= L_{54} z_4\end{aligned}$$

6. Subsistem VI

$$\begin{aligned}\dot{x}_6 &= A_6 x_6 + B_6 u_6 + E_6 s_6 \\ y_6 &= C_6 x_6 + D_6 u_6 + F_6 s_6 \\ z_6 &= C_{z6} x_6 + D_{z6} u_6 + F_6 s_6 \\ L &= L_{65} z_5\end{aligned}$$

7. Subsistem VII

$$\begin{aligned}\dot{x}_7 &= A_7 x_7 + B_7 u_7 + E_7 s_7 \\ y_7 &= C_7 x_7 + D_7 u_7 + F_7 s_7 \\ z_7 &= C_{z7} x_7 + D_{z7} u_7 + F_7 s_7 \\ L &= L_{76} z_6\end{aligned}$$

8. Subsistem VIII

$$\begin{aligned}\dot{x}_8 &= A_8 x_8 + B_8 u_8 + E_8 s_8 \\ y_8 &= C_8 x_8 + D_8 u_8 + F_8 s_8 \\ z_8 &= C_{z8} x_8 + D_{z8} u_8 + F_8 s_8 \\ L &= L_{87} z_7\end{aligned}$$

Dari persamaan subsistem-subsistem diatas dibentuk matrik interaksi (L) berikut ini:

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 \end{bmatrix}$$

Sistem pada *power plant* PLTU diatas merupakan pengolahan proses yang tidak memiliki *throughput* (pada sistem ini kondisi input menjadi output) sehingga berlaku pada persamaan (5) dan (6) jadi persamaan struktur sistem dalam model input output menjadi:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ E_2 C_{z1} & A_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_3 C_{z2} & A_3 & 0 & E_3 C_{z5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E_4 C_{z3} & A_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & E_5 C_{z4} & A_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & E_6 C_{z5} & A_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_7 C_{z6} & A_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_8 C_{z7} & A_8 \end{bmatrix} x \\ + & \begin{bmatrix} B_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & B_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & B_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B_8 \end{bmatrix} u \\ y &= \begin{bmatrix} C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ F_2 C_{z1} & C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & F_2 C_{z2} & C_3 & 0 & F_2 C_{z5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & F_2 C_{z3} & C_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & F_2 C_{z4} & C_5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & F_2 C_{z5} & C_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F_2 C_{z6} & C_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F_2 C_{z7} & F_8 \end{bmatrix} x\end{aligned}$$

4 Analisis dan Pembahasan

Dari persamaan diatas maka kita dapat menyusun suatu matrik struktur sebagai berikut:

$$S_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_b = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_c = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Diatas merupakan kondisi dari struktur-rank (S-Rank) untuk $[S_a \ S_b]$ dan $[S_a \ S_c]^T$ dari sistem diatas. Adapun struktur-rank (S-Rank) dari $[S_a \ S_b] = 8$ dengan S-Rank $[S_a \ S_c]^T = 8$. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tersebut bisa dikatakan *controllable* dan *observable* karena syarat dari sistem tersebut *output* dan input *reachable* (yaitu ada lintasan yang menghubungkan salah satu input ke setiap state). Selanjutnya kita dekomposisi kan menjadi subsistem-subsistem yang dapat disusun secara struktur hirarki.

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ L_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & L_{32} & 0 & 0 & L_{35} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L_{43} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L_{54} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L_{65} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_{76} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L_{87} & 0 \end{bmatrix}$$

Dari struktur matrik L terbukti bahwa matrik tersebut merupakan *lower diagonal* bahwa pengendalian proses diatas mempunyai struktur berhirarki. Matriks diatas didekomposisi menjadi 6 subsistem baru yang mempunyai karakteristik *strongly coupled sistem*. Persamaan sistem tiap *strongly coupled sistem* adalah sebagai berikut:

1. SCS 1 (Level 6)

$$\dot{x}_1 = A_1 x_1 + B_1 u_1 \\ y_1 = C_1 x_1$$

2. SCS 2 (Level 5)

$$\dot{x}_2 = A_2 x_2 + B_2 u_2 \\ y_2 = C_2 x_2$$

3. SCS 3 (Level 4)

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_3 & 0 & E_3 C_{z5} \\ E_4 C_{z3} & A_4 & 0 \\ 0 & E_5 C_{z4} & A_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_3 & 0 & 0 \\ 0 & B_4 & 0 \\ 0 & 0 & B_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_3 & 0 & 0 \\ 0 & C_4 & 0 \\ 0 & 0 & C_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}$$

4. SCS 4 (Level 3)

$$\dot{x}_6 = A_6 x_6 + B_6 u_6 \\ y_6 = C_6 x_6$$

5. SCS 5 (Level 2)

$$\dot{x}_7 = A_7 x_7 + B_7 u_7 \\ y_7 = C_7 x_7$$

6. SCS 6 (Level 1)

$$\dot{x}_8 = A_8 x_8 + B_8 u_8 \\ y_8 = C_8 x_8$$

Pengelompokkan tersebut tentunya berdasar pada graph struktur sistem dengan memperhatikan interaksi pada L. Dekomposisi sistem dapat mempermudah analisa kestabilan sistem, karena suatu sistem dikatakan stabil jika dan hanya jika semua *strongly coupled sistem* adalah stabil. Karena sistem pengendalian pada power plant di atas mempunyai matriks interaksi L yang lower diagonal maka sistem tersebut mempunyai struktur berhirarki.

Sistem dikatakan stabil jika dan hanya jika semua *eigenvalue* sistem tersebut berada pada bagian negative bidang kompleks. Setelah didekomposisi sistem dikatakan stabil dan hanya jika semua SCS nya stabil.

Kita asumsikan tiap susbsistem adalah orde 1 dengan konstan waktu (T) untuk tiap subsistem adalah 1, 0.5, 1, 1, 1, 0.5, 0.2, 1 maka persamaan sistem untuk tiap SCS adalah:

1. SCS 1 (Level 6)

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -x_1 + u_1 \\ y_1 &= x_1\end{aligned}$$

2. SCS 2 (Level 5)

$$\begin{aligned}\dot{x}_2 &= -2x_2 + 2u_2 \\ y_2 &= x_2\end{aligned}$$

3. SCS 3 (Level 4)

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ \dot{x}_5 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} + \\ &\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}$$

4. SCS 4 (Level 3)

$$\begin{aligned}\dot{x}_6 &= -2x_6 + 2u_6 \\ y_6 &= x_6\end{aligned}$$

5. SCS 5 (Level 2)

$$\begin{aligned}\dot{x}_7 &= -5x_7 + 5u_7 \\ y_7 &= x_7\end{aligned}$$

6. SCS 6 (Level 1)

$$\begin{aligned}\dot{x}_8 &= -x_8 + u_8 \\ y_8 &= x_8\end{aligned}$$

Untuk menentukan kestabilan sistem diatas maka akan dicari *eigenvalue* masing-masing *strongly coupled sistem* diatas

SCS 1, mempunyai *eigenvalue* pada $\lambda_1 = -1$

SCS 2, mempunyai *eigenvalue* pada $\lambda_2 = -2$ **SCS 3**, mempunyai *eigenvalue* pada $\lambda_3 = -1.5 + 0.866i$, $\lambda_4 = -1.5 + 0.866i$, $\lambda_5 = 0$

SCS 4, mempunyai *eigenvalue* pada $\lambda_6 = -2$

SCS 5, mempunyai *eigenvalue* pada $\lambda_7 = -5$

SCS 6, mempunyai *eigenvalue* pada $\lambda_8 = -1$

Terdapat satu *eigenvalue* yaitu $\lambda_5 = 0$ sehingga SCS3 diperkirakan tidak stabil akan mengakibatkan sistem lebih labil. Sistem yang tidak stabil dapat distabilkan dengan menggunakan pengendalian terdesentralisasi dengan syarat sistem tersebut tidak memiliki *fixed mode* terdesentralisasi. Sistem dapat distabilkan dengan memberikan kompensator terdesentralisasi statis pada sistem. Kompensator berupa umpan balik dari y_3 ke u_3 , y_4 ke u_4 dan y_5 ke u_5 .

$$u_3 = -K_3 y_3$$

$$u_4 = -K_4 y_4$$

$$u_5 = -K_5 y_5$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}A - BKC &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_3 & 0 & 0 \\ 0 & K_4 & 0 \\ 0 & 0 & K_5 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_3 & 0 & 0 \\ 0 & K_4 & 0 \\ 0 & 0 & K_5 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} -1-K_3 & 0 & 1 \\ 1 & -1-K_4 & 0 \\ 0 & 1 & -1-K_5 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

Eigenvalue dicari dari persamaan $|\lambda I - (A - BKC)| = 0$, sehingga diperoleh

$$\begin{bmatrix} \lambda - (-1-K_3) & 0 & 1 \\ 1 & \lambda - (-1-K_4) & 0 \\ 0 & 1 & \lambda - (-1-K_5) \end{bmatrix} = 0$$

$$\lambda^3 + (2 + K_3 K_5 + K_4 K_5) \lambda^2 + (K_4 K_5 + K_3 K_5 + K_3 K_4 K_5) \lambda + 1 = 0$$

Jika diasumsikan spectrum loop tertutup $\sigma_0 = -2, -3, -4$ maka akan mendapatkan persamaan

$$(-1 + K_3)(-2 + K_4)(-3 + K_5) = 0$$

Maka dieperoleh kompensator statis $K_3 = 1$, $K_4 = 2$ dan $K_5 = 3$, sehingga aksi kendalinya adalah

$$u_3 = -1y_3, u_4 = -2y_4 \text{ dan } u_5 = -3y_5.$$

Gambar 7 diatas merupakan diagram blok SCS3 ditambah kompensator K_3, K_4 dan K_5 kemudian

dipasang pada stasiun kendali 3, 4 dan 5 menjadi sistem yang stabil.

5 Kesimpulan

Dari hasil analisis diatas sistem mempunyai input langsung menjadi output (throughput) dan sistem diatas memenuhi syarat input dan outputnya *reachable* sehingga sistem bisa dikatakan *controllable* dan *observable*. Untuk menghasilkan sistem stabil di ketahui bahwa persamaan karakteristiknya berada di sebelah kiri bidang S, terdapat SCS3 yang tidak stabil karna salah satu $\lambda_5 = 0$ maka distabilkan menggunakan pengendalian terdesentralisasi dengan memberikan kompensator.

6 Daftar Pustaka.

- [1] Khairudin, Moh. "sistem kendali pada sistem kompleks multivariable dengan metode berhirarki" (*Telecommunication Computing Electronics and Control*) 3.1 (2005): 27-37.
- [2] Koo, Geun Bum, Jin Bae Park, and Young Hoon Joo. "Decentralized fuzzy observer-based output-feedback control for nonlinear large-scale systems: an LMI approach." *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on* 22.2 (2014): 406-419.
- [3] Albertoe, P & Sala, A "Multivariable Control System: An Engineering Approach" Springer: Verlag London, London 2004.
- [4] Lunze, Jan, "Feedback Control of Large Scale System" PrenticeHall International, Englewood Cliffs, 1992.
- [5] Li, Duan. "Hierarchical control for large-scale systems with general multiple linear-quadratic structure." *Automatica* 29.6 (1993): 1451-1461.
- [6] Ngan, H. W., A. K. David, and K. L. Lo. "Decentralized hierarchical optimal control of dynamic instability in AC/DC power systems." *International Journal of Electrical Power &Energy Systems* 14.5 (1992): 358-363.

Estimasi Waktu Injeksi Bahan Bakar pada Mesin 4 Langkah dengan Menggunakan ANFIS

¹M. Aziz Muslim^{*)}, ¹Dwi Fadila K & ¹Goegoes Dwi N

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

muh_aziz@ub.ac.id^{)}*

Abstrak

Perbandingan udara dan bahan bakar (Air to Fuel Ratio) adalah factor yang sangat menentukan dalam perbaikan emisi bahan bakar dan efisiensi penggunaan bahan bakar suatu mesin. Bila diasumsikan udara yang masuk ke mesin adalah konstan, maka penentuan perbandingan udara dan bahan bakar dapat diatur dengan menentukan waktu dan durasi operasi dari injector bahan bakar. Pada makalah ini, akan disajikan estimasi penentuan waktu injeksi bahan bakar dengan menggunakan metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Dari hasil eksperimen, didapatkan bahwa ANFIS dapat memberikan prediksi waktu injeksi bahan bakar dengan baik.

1 Pendahuluan

Pengaturan dalam mesin berarti mengatur bahan bakar dan asupan udara serta waktu pengapian untuk mencapai kinerja yang diinginkan dalam bentuk torsi atau daya keluaran. Sampai akhir 1960-an, mengendalikan output mesin, torsi dan RPM itu dicapai melalui beberapa kombinasi dari mekanik, pneumatik, atau sistem hidrolis. Kemudian, pada 1968, sistem kontrol elektronik (engine control system/ECS) diperkenalkan oleh Volkswagen 1600 dengan menggunakan sebuah mikroprosesor untuk membentuk sistem injeksi [1].

Perkembangan teknologi elektronika dan bertambahnya tingkat kesadaran dunia akan pentingnya mengurangi polusi udara dan penghematan bahan bakar minyak menuntut system ECS yang lebih maju. Sehingga dikembangkanlah suatu perangkat yang disebut Main Control Unit (MCU). Versi sederhana dari MCU disebut sebagai Electronic Control Unit (ECU) dengan tugas yang lebih sedikit, biasanya hanya mengatur system yang terkait dengan kinerja mesin. Perangkat keras ECU biasanya terdiri dari penyalp daya untuk menggerakkan aktuator (misal injector bahan bakar), power supply, sirkuit referensi, antarmuka untuk modul komunikasi dan memori eksternal.

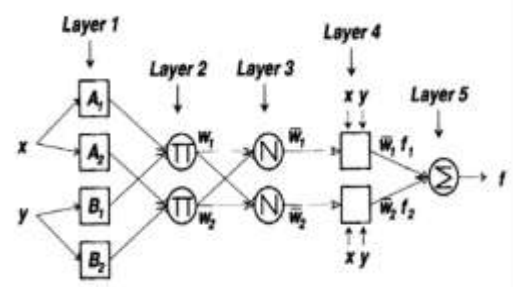
Dari berbagai bentuk dan sistem ECU konvensional yang sudah ada terdapat kelemahan yaitu informasi karakter mesin hanya bisa diketahui oleh mekanik kemudian pengetahuan tersebut

ditransfer ke ECU dalam bentuk pengaturan ulang kurva pengapian dan durasi injector. Oleh karena itu diperlukan ECU cerdas yang mampu membaca karakter mesin baik yang bersifat statis dan karakter yang bersifat dinamis. Isermann [2] mengusulkan suatu sistem kecerdasan berdasarkan jaringan syaraf tiruan guna membentuk suatu look-up table yang diadaptasi secara online. Sistem kecerdasan dilatih untuk mengenali karakter mesin melalui masukan-masukan sensor untuk menghasilkan keluaran berupa tabel (berisi derajat pengapian pada range rpm tertentu) yang menghasilkan kinerja kendaraan paling optimum. Berdasarkan [2], pada makalah ini diusulkan estimasi penentuan waktu injeksi bahan bakar (bensin) dengan metode ANFIS. Dengan menggunakan metode ANFIS, diharapkan akan diperoleh suatu sistem cerdas yang dapat diimplementasikan di ECU.

2 Metode Penelitian

2.1 Metode ANFIS

ANFIS adalah gabungan dari dua sistem yaitu sistem logika fuzzy dan jaringan syaraf tiruan. Sistem ANFIS berdasar pada sistem inferensi fuzzy yang dilatih menggunakan algoritma pembelajaran backpropagation [3]. Arsitektur ANFIS secara fungsional sama dengan fuzzy rule base model Sugeno. Arsitektur ANFIS juga sama dengan jaringan syaraf tiruan model Radial Basis Function dengan sedikit batasan tertentu.



Gambar 1. struktur ANFIS [3]

Pada Gambar 1, diperlihatkan struktur dari ANFIS. Dari 5 layer yang terdapat pada ANFIS, hanya layer 1 dan layer 4 yang bersifat trainable, ketiga layer

yang lain bersifat tetap. Berturut-turut, proses yang berlangsung pada tiap layer ANFIS dapat dituliskan sebagai berikut:

a) Layer 1.

Semua simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif (parameter dapat berubah) dengan fungsi simpul :

$$O_{1,i} = \mu A_i(x) \quad (1)$$

$$O_{1,j} = \mu B_j(y) \quad (2)$$

dimana $i = 1, 2, \dots$ jumlah himpunan fuzzy untuk input 1, dan $j = 1, 2, \dots$ jumlah himpunan fuzzy untuk input 2

dengan x dan y adalah masukan pada simpul input. Simpul O berfungsi untuk menyatakan derajat keanggotaan tiap masukan terhadap himpunan fuzzy A dan B . Fungsi keanggotaan yang dipakai adalah tipe Generalized Bell:

$$\mu A(x) = \frac{1}{\left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b} + 1} \quad (3)$$

Dimana

c adalah center dari fungsi Generalized Bell

a dan b adalah parameter spread dari Gaussian

b) Layer 2.

Semua simpul pada lapisan ini adalah nonadaptif (parameter tetap). Fungsi simpul ini adalah mengalikan setiap sinyal masukan yang datang. Tiap-tiap node merepresentasikan α predikat dari aturan ke- i .

$$O_{2,i} = \mu A_i(x) \mu B_j(y) \quad (4)$$

Tiap keluaran simpul menyatakan derajat pengaktifan (firing strength) tiap aturan fuzzy.

c) Layer 3.

Lapisan Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (normalized firing strength).

$$O_{3,1} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5)$$

d) Layer 4.

Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul sebagai berikut :

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (6)$$

dengan $\bar{w}_i$ adalah derajat pengaktifan ternormalisasi dari lapisan 3 dan parameter p , q , dan r menyatakan parameter konsekuen yang adaptif.

e) Layer 5.

Pada lapisan ini hanya ada satu simpul tetap yang fungsinya untuk menjumlahkan semua masukan. Fungsi simpul sebagai berikut:

$$O_{5,1} = \sum \bar{w}_i f_i \quad (7)$$

2.2 Pengambilan Data

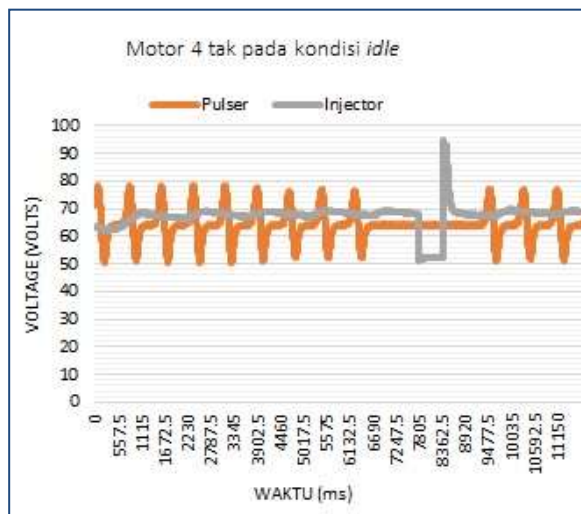
Pada penelitian ini, akan dilakukan estimasi waktu injeksi bahan bakar pada sepeda motor 4 tak dengan menggunakan ANFIS. Untuk melatih ANFIS, diperlukan data pelatihan yang diperoleh dari pengukuran langsung pada sepeda motor. Gambar 2 memperlihatkan contoh pemasangan probe bagi pengambilan data pada sepeda motor. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan Digital Storage Oscilloscope yang memiliki kemampuan hingga 2x106 sampling per detik.



Gambar 2. pemasangan probe untuk pengambilan data

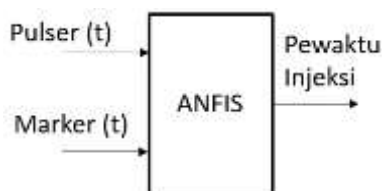
2.3 Rancangan Penelitian

Penentuan waktu injeksi pada penelitian ini menggunakan 2 buah sinyal, yaitu sinyal pulser, dan sinyal dari injector.



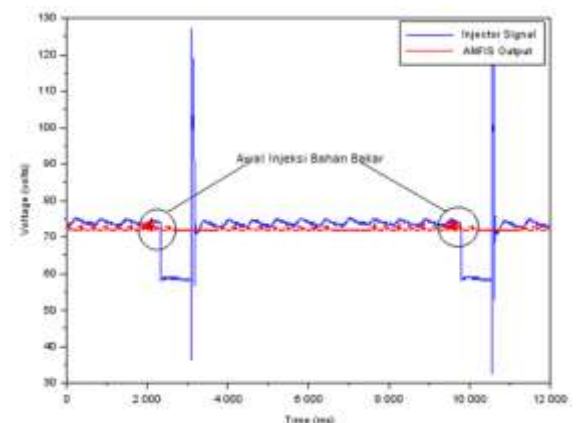
Gambar 3. contoh data latih untuk ANFIS

Selanjutnya akan dicari hubungan antar kedua sinyal tersebut untuk mengestimasi waktu injeksi bahan bakar yang optimum. Contoh data yang dipergunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3. Secara umum terlihat bahwa data tersebut bersifat *seasonal* dan dapat diprediksi. Gambar 4 memperlihatkan struktur input-output yang dipilih bagi ANFIS. Sinyal pulser merupakan sinyal yang terkait erat dengan kecepatan putaran mesin dan dari sinyal juga dapat diketahui siklus yang sedang berlangsung dari mesin 4 langkah. Untuk mempermudah proses pembelajaran ANFIS, maka ditambahkan input kedua, yaitu *marker*. Input ini berupa data "0" atau "1" untuk menandai siklus yang terjadi pada mesin 4 tak. Sebagai *target* pembelajaran ANFIS adalah sinyal *injector* yang berisi sinyal pulsa dari *injector*. Tujuan dari pembelajaran ANFIS ini adalah untuk menandai waktu permulaan pemberian injeksi, sehingga durasi injeksi, walaupun termasuk dalam pulsa *injector*, tidak menjadi target pembelajaran. Bahasan mengenai durasi injeksi akan menjadi topik penelitian dalam waktu dekat.



Gambar 4. struktur input-output ANFIS

Pada penelitian ini digunakan SCILAB untuk mengembangkan perangkat lunak bagi prediksi waktu injeksi. SCILAB dipilih karena merupakan software tak berbayar dengan fasilitas yang sangat mirip dengan MATLAB.

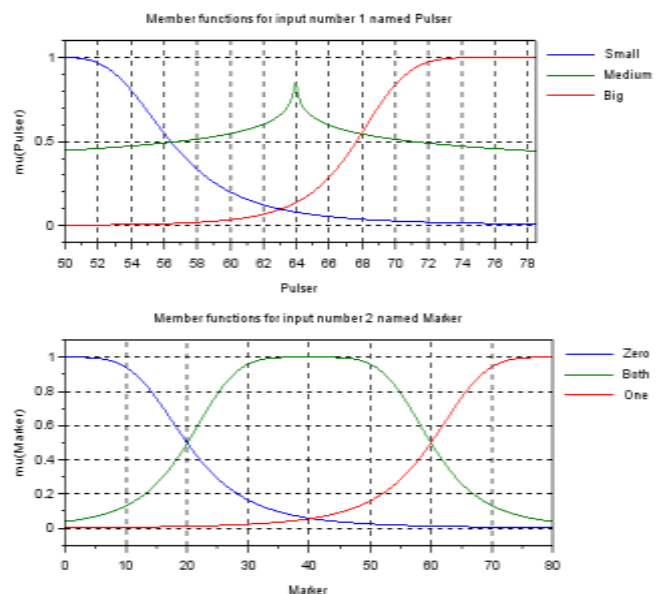


Gambar 5. hasil prediksi waktu injeksi dengan ANFIS

3 Hasil dan Diskusi

Hasil simulasi diberikan pada Gambar 5. Waktu injeksi ditandai dengan keluaran dari ANFIS yang berosilasi secara cepat. Akhir dari osilasi tersebut menandai waktu dimulainya injeksi bahan bakar. Terdapat kesalahan waktu injeksi sebesar 50 ms lebih cepat bila dibanding dengan sinyal yang sesungguhnya.

Fungsi keanggotaan kedua input ANFIS pada awalnya adalah uniform. Seiring dengan proses pembelajaran, maka dihasilkan fungsi keanggotaan yang tidak homogen sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6. Dari hasil pembelajaran juga dihasilkan 9 buah fungsi linear orde 1 yang merupakan bagian konsekuensi dari aturan fuzzy model Sugeno yang dihasilkan dari proses pembelajaran ANFIS. Kesembilan buah fungsi tersebut diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 6. fungsi keanggotaan input pada ANFIS

EDIT VARIABLE :

Information :

name :

StartInject

range :

32.5 127.0

Nbr. Member Function :

9

Member functions:

name :	type :	par :
f1	constant	-0.70062943959 0.0039684688911 107.9222553
f2	linear	-0.030624613063 0.039310580467 4.1378324748
f3	linear	-0.096390259567 1.0199062339 0.38164181629
f4	linear	-0.80797691219 0.0031198173429 127.25050919
f5	linear	-0.023442609112 0.030904213015 4.8787024524
f6	linear	0.19385054479 0.80179236314 0.44498217861
f7	linear	0.23426627088 0.004353570963 62.9483062
f8	linear	0.0013469718289 0.043125301121 2.4137438172
f9	linear	-0.20003052308 1.1188804323 0.22915178176

Gambar 7. Bagian konsekuen aturan fuzzy hasil pembelajaran ANFIS

4 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa ANFIS dapat dipergunakan untuk memprediksi waktu injeksi bahan bakar dengan akurasi yang cukup baik. Untuk efisiensi pembakaran, durasi injeksi juga harus diberikan. Topik ini akan menjadi acuan dalam penelitian lanjutan.

5 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendanaan Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, sesuai dengan Addendum Surat Perjanjian Penugasan Dalam Rangka Pelaksanaan Program Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Nomor: 007/Add/SP2H/PL/DIT.LITABMAS/V/2015, tanggal 12 Mei 2015

6 Daftar Pustaka

- [1] Long Xie, Study on Automotive Embedded System Design of Engine, Brake and Security System, 2006
- [2] Isermann, R, "Diagnosis Methods for Electronic Controlled Vehicles", International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, Vol. 36, No. 2-3, 2001.
- [3] Jyh-Shing, Roger Jang, "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System," IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics, Vol. 23 No.3, 1993, pp. 665-685.

Perancangan dan Implementasi Osiloskop Digital Berbasis Soundcard

¹Yundi Supriandani*), ¹Irvan Budiawan & ^{1,2}Estiyanti Ekawati

¹Pusat Teknologi Instrumentasi dan Otomasi, Institut Teknologi Bandung

²Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

(corresponding author) yundi@instrument.itb.ac.id*)

Abstrak

Osiloskop merupakan instrumen pengukuran nilai, bentuk dan perbedaan fasa sinyal tegangan listrik. Instrumen ini merupakan perangkat esensial dalam setiap proses laboratorium pendidikan dan penelitian sains di institusi pendidikan menengah dan perguruan tinggi. Sampai dengan tahun 2015, osiloskop tersedia di pasaran Indonesia dengan beragam spesifikasi namun harganya yang cukup tinggi. Untuk menyikapi masalah tersebut, pada penelitian ini dirancang dan dibangun osiloskop digital yang ekonomis dengan memanfaatkan soundcard yang terpasang pada komputer portabel serta modul listrik yang dapat dibangun menggunakan komponen yang tersedia di dalam negeri.

Fitur yang dimiliki oleh osiloskop digital ini meliputi kemampuan menampilkan nilai, bentuk serta perbandingan dua jenis sinyal tegangan listrik bolak-balik, serta menampilkan spektrum sinyal. Kinerja osiloskop ini dikalibrasi terhadap osiloskop digital standard, dan menghasilkan akurasi pengukuran sinyal yang sangat baik pada rentang pengukuran 1Vpp-10Vpp pada frekuensi sinyal input di bawah 10KHz.

Kata Kunci: Osiloskop Digital, Soundcard, Frekuensi Audio

1 Pendahuluan

Di setiap laboratorium dan kelas pembelajaran sains, khususnya yang berbasis fisika dan elektronika, osiloskop merupakan instrumen yang sangat diperlukan. Instrumen ini menampilkan sinyal tegangan listrik dengan berbagai cara tergantung pada spesifikasi osiloskop yang bersangkutan [1]. Tampilan paling sederhana adalah menampilkan nilai dan bentuk sebuah sinyal. Osiloskop yang lebih lengkap dapat menampilkan dua sinyal dalam satu layar, sehingga perbandingan nilai, bentuk dan beda fasa antara keduanya dapat ditampilkan. Fitur lain yang juga sering ditemui pada osiloskop adalah tampilan perbedaan fasa dua sinyal tegangan dalam bentuk grafik Lissajous. Bentuk umum sebuah osiloskop ditampilkan pada Gambar 1.

Teknologi tampilan pada osiloskop mengikuti teknologi tampilan pada televisi. Pada tahun 1970-1990, kebanyakan osiloskop mengandalkan teknologi Cathode Ray Tube (CRT). Pada teknologi ini, untuk mendapatkan tampilan sinyal, elektron



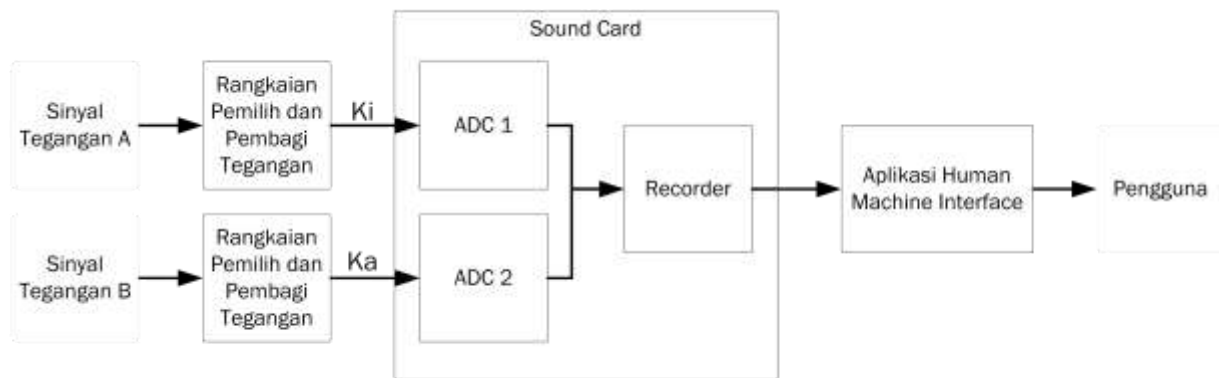
(a)



(b)

Gambar 22 Tampilan Osiloskop (a) Analog(b) Digital

dipancarkan ke layar di dalam sebuah tabung yang dinding dalamnya dilapisi elektroda. Lintasan elektron menuju layar diarahkan oleh beda potensial antara elektroda-elektroda dalam tabung tersebut. Osiloskop yang menggunakan teknologi ini umumnya berbentuk memanjang karena memuat tabung, dan berbobot relatif berat. Hasil pengukuran sinyal juga hanya dapat diamati secara visual, dan nilai sinyal yang ditampilkan tidak dapat direkam [1]. Sejak sekitar tahun 2000, osiloskop dengan layar LCD mulai diproduksi, sehingga ukuran osiloskop dapat dibuat lebih kecil. Selanjutnya, osiloskop digital yang mampu



Gambar 23. Rancangan Fungsional Osiloskop Digital

merekam data pengukuran sinyal tegangan listrik untuk keperluan analisis lanjut, seperti analisis spektrum sinyal, juga mulai memasuki pasaran [1].

Mengingat pentingnya kemampuan tersebut dalam penelitian dan pembelajaran sains, osiloskop digital merupakan instrumen yang sangat dibutuhkan di berbagai institusi pendidikan. Namun, osiloskop digital di pasaran Indonesia umumnya merupakan barang impor dan harganya tinggi, sehingga institusi dengan anggaran belanja terbatas sulit mendapatkannya.

Untuk menyikapi hal tersebut, pada penelitian ini dirancang dan dibangun instrumen osiloskop digital yang ekonomis, dengan memanfaatkan *soundcard* yang tersedia pada berbagai perangkat komputer portabel [2]. Sesuai fungsinya untuk menangkap dan menghasilkan suara, *soundcard* mengolah sinyal tegangan listrik pada frekuensi audio, yaitu 20Hz-20KHz. Kemampuan tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan osiloskop digital yang mampu mendukung pengukuran dan analisis sinyal tegangan listrik dalam rentang frekuensi tersebut.

2 Perancangan Osiloskop Digital

Skema rancangan fungsional osiloskop digital ditampilkan pada Gambar 2. Komponen utama pada osiloskop digital adalah *soundcard* stereo yang banyak terdapat pada komputer portabel [2]. Fitur yang dimanfaatkan pada *soundcard* meliputi dua kanal masukan, ADC, Recorder. Untuk menghasilkan fitur osiloskop, ditambahkan rangkaian pemilih dan pembagi tegangan.

Kanal Masukan

Pada penelitian ini digunakan *soundcard* stereo yang memiliki dua kanal untuk menerima sinyal masukan, yaitu kanal kiri (Ki) dan kanal kanan (Ka). Kedua kanal ini dimanfaatkan untuk

menerima sinyal masukan, sehingga osiloskop dapat menerima dan menunjukkan perbandingan dua jenis sinyal.

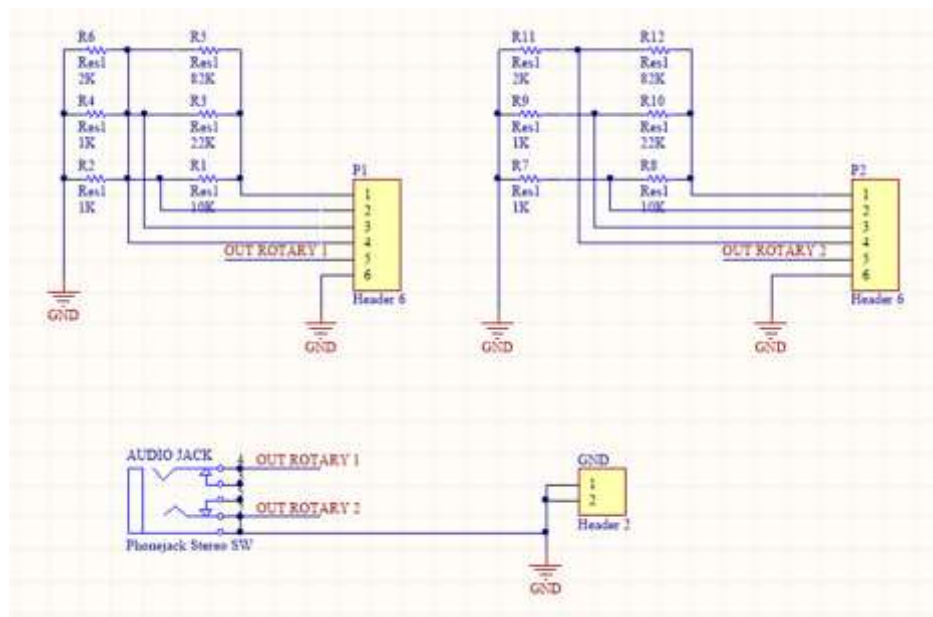
Pencuplikan Tegangan oleh Soundcard

Soundcard pada komputer memiliki komponen pengkonversi sinyal Analog ke Digital (ADC) [4]. Pengkonversi ini mampu mencuplik sinyal tegangan listrik dengan resolusi 16 bit dan frekuensi cuplik 48 KHz. Syarat minimum untuk dapat melakukan pencuplikan sinyal AC adalah frekuensi cuplik minimal 2 kali lebih cepat dari sinyal tegangan yang dicuplik. Berdasarkan syarat pencuplikan sinyal dan spesifikasi yang dimiliki, maka *soundcard* mampu mencuplik sinyal audio yang memiliki frekuensi 20Hz – 20KHz. Osiloskop digital memanfaatkan kemampuan ini dimanfaatkan untuk mencuplik tegangan listrik bolak balik (Alternating Current, AC) pada rentang frekuensi audio.

Pemilih Rentang dan Pembagi Tegangan

Soundcard [2] yang digunakan hanya dapat mencuplik sinyal tegangan dengan rentang $\pm 1V_{pp}$. Maka, agar osiloskop digital dapat mengolah sinyal masukan V_{in} pada beberapa rentang hingga mencapai $20V_{pp}$, digunakan rangkaian pemilih rentang pengukuran dan pembagi tegangan seperti pada Gambar 3. Gambar ini menunjukkan bahwa pemilihan rentang pengukuran pada kedua kanal masukan dilayani oleh sepasang rotary switch. Kedua sinyal keluaran rotary switch kemudian diumpankan pada audio jack 3.5mm stereo yang tersedia pada *soundcard*.

Pilihan tegangan yang disediakan oleh rangkaian ini adalah $0-1 V_{pp}$, $0-10 V_{pp}$, dan $0-20V_{pp}$. Rangkaian ini membagi tegangan listrik V_{in} yang diukur hingga mencapai $1 V_{pp}$, sehingga dapat dicuplik oleh *soundcard*. Prinsip pembagian tegangan pada setiap rentang pengukuran memenuhi persamaan (1).



Gambar 24. Rangkaian pembagi dan pemilih tegangan

$$V_{out} = \left(\frac{R_{2,4,6,7,9,11}}{R_{2,4,6,7,9,11} + R_{1,3,5,8,10,12}} \right) V_{in} \quad (1)$$

Rangkaian ini akan selalu mendapatkan interferensi noise dari lingkungan dan jala-jala listrik. Untuk mengurangi efek noise, digunakan casing alumunium yang berfungsi sebagai sangkar Faraday. Tampilan akhir modul pemilih rentang dan pembagi tegangan ditampilkan pada Gambar 4.

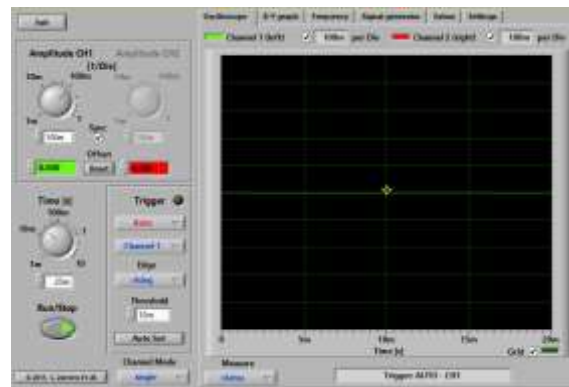


Gambar 25. Osiloskop digital dengan casing alumunium

Human Machine Interface

Sinyal yang terbaca oleh osiloskop ditampilkan dalam antarmuka pengguna (Human Machine Interface, HMI). Pada osiloskop ini, fitur yang diharapkan adalah tampilan sinyal, perubahan skala pembacaan sinyal, perubahan rentang frekuensi sinyal serta pembacaan spektrum sinyal.

Untuk keperluan tersebut, pada penelitian ini digunakan perangkat lunak bebas lisensi untuk edisi mahasiswa bernama Scope untuk dimodifikasi sebagai antar muka pengguna.



Gambar 26. Antarmuka pengguna menggunakan perangkat lunak Scope

Bila sinyal yang diukur adalah sinyal $0-1V_{pp}$, maka Scope menunjukkan sinyal sesuai nilai aslinya. Sedangkan untuk pilihan $0-10V_{pp}$, dan $0-20V_{pp}$ diperlukan konversi nilai, berhubung sinyal yang dicuplik dan dikirim dari soundcard adalah sinyal sebesar $0-1V_{pp}$. Konversi nilai pengukuran dinyatakan oleh persamaan (2).

$$V_{in} = V_{scope} \times K_n \quad (2)$$

Pada persamaan (2), V_{scope} adalah tegangan yang ditunjukkan oleh antarmuka, sedangkan K_n adalah

konstanta konversi untuk rentang maksimum $n=10V$ dan $n=20V$.

Besarnya K_n ditentukan dari hasil pengujian kinerja osiloskop ini terhadap osiloskop digital standar. Untuk pembahasan selanjutnya, osiloskop digital berbasis soundcard yang sudah terangkai ini disebut ODS.

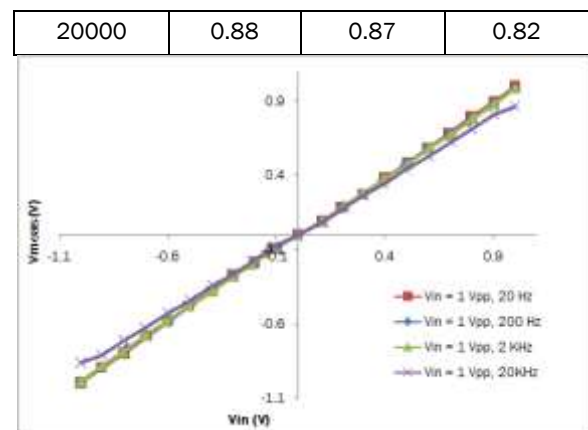
3 Pengujian Kinerja Osiloskop

Pengujian kinerja ODS dilaksanakan dengan cara membandingkan hasil pengukurannya dengan hasil pengukuran osiloskop digital GW INSTEKGDS-1052-U, yang digunakan sebagai standar. Pengujian yang dilakukan meliputi [4]:

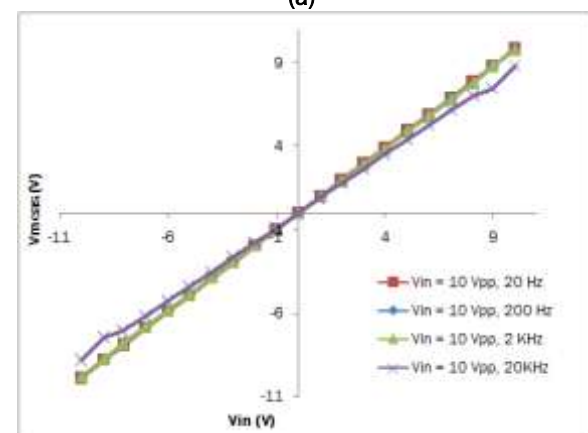
1. Perbandingan nilai V_{meas} , yaitu tegangan yang terukur oleh ODS dengan tegangan masukan V_{in} yang diukur oleh osiloskop standar pada frekuensi 20 Hz, 200 Hz, 2 KHz dan 20 KHz. Tegangan V_{in} digunakan pada range 1 Vpp, 10 Vpp, dan 20 Vpp dengan interval 5% rentang skala penuh. Pada percobaan ini diamati akurasi serta linieritas antara V_{in} dan V_{meas} . Perbandingan tersebut dirangkum pada Gambar 6 dan Tabel 1
2. Perbandingan $V_{measmax}$, yaitu tegangan maksimum yang terukur oleh ODS bila mengukur tegangan masukan V_{in} pada nilai 1 V dan 5 V, dengan frekuensi V_{in} divariasikan dari 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 5 KHz, 10 KHz, 20 KHz, 30 KHz, 40 KHz, sampai 50 KHz. Hasil perbandingan tersebut dirangkum pada Gambar 7.
3. Perbandingan antara 2 V_{in} yang berbeda fasa, yang masuk melalui kanal Ki dan Ka

Tabel 5. Akurasi dan Linieritas Pengukuran Osiloskop Digital berbasis Soundcard

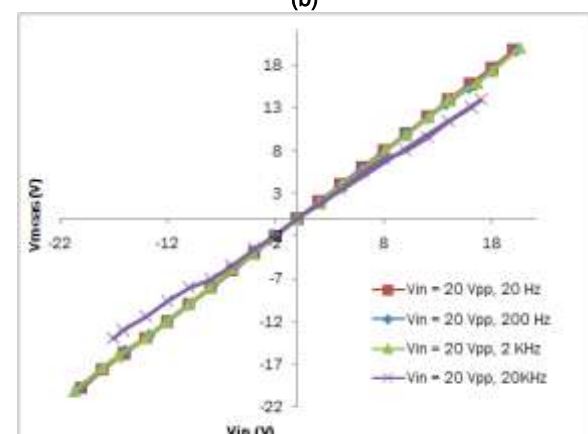
Frekuensi V_{in} (Hz)	Akurasi OSD		
	1Vpp	10Vpp	20Vpp
20	99.41%	99.64%	99.79%
200	99.10%	99.35%	99.32%
2000	99.24%	99.38%	99.71%
20000	96.87%	96.73%	91.36%
Frekuensi V_{in} (Hz)	Linieritas OSD (gradien)		
	1Vpp	10Vpp	20Vpp
20	0.98	0.98	0.99
200	0.97	0.97	0.97
2000	0.97	0.97	0.98



(a)



(b)

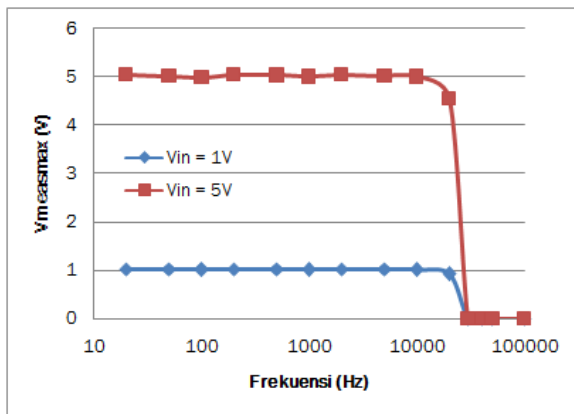


(c)

Gambar 27. Akurasi V_{meas} terhadap V_{in} pada rentang pengukuran dan frekuensi yang berbeda (a) 1Vpp (b) 10Vpp (c) 20Vpp

Pada Tabel 1, akurasi pengukuran pada setiap pilihan frekuensi untuk rentang skala penuh V_{in} pada Tabel 1 dinyatakan dalam persamaan (3)

$$Akurasi = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n abs(V_{meas i} - V_{in i})}{max(V_{in}) - min(V_{in})} \times 100\% \quad (3)$$



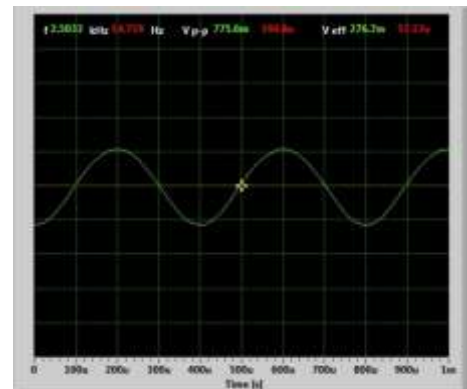
Gambar 28.Perubahan $V_{measmax}$ terhadap frekuensi sinyal input pada osiloskop digital berbasis soundcard

Berdasarkan definisi pada persamaan (1), maka akurasi terbaik adalah 100%, dan terburuk adalah 0%.

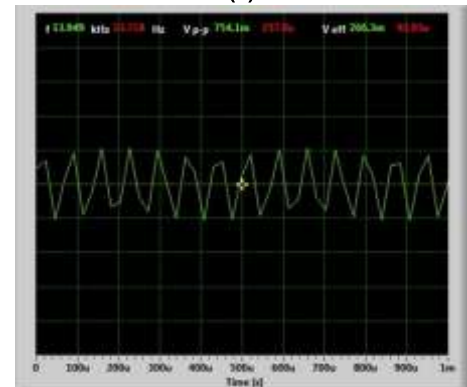
Adapun linieritas pada setiap pilihan frekuensi untuk skala penuh V_{in} dinyatakan dalam koefisien korelasi r^2 dan gradien garis regresi m antara V_{meas} dengan V_{in} . Berdasarkan satuan ini, nilai koefisien korelasi tertinggi adalah 1.00 dan terendah adalah 0.00. Gradien terbaik adalah 1.00 dan terburuk adalah 0.00.

Pengujian 1 yang dirangkum pada Gambar 6 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa akurasi sinyal dipengaruhi oleh rentang pengukuran dan frekuensi sinyal input. Pada gambar 6, pada rentang pengukuran $1V_{pp}$ dan $20V_{pp}$, serta frekuensi 20Hz - 2KHz, nilai akurasi di atas 99%. Namun pada frekuensi V_{in} 20KHz, akurasi merosot di bawah 97%. Koefisien korelasi seluruh pengukuran adalah 1.00, sehingga yang dapat digunakan sebagai pembeda kualitas pengukuran adalah gradien antara V_{meas} dan V_{in} . Tabel 1 menunjukkan bahwa pada frekuensi 20Hz - 2KHz gradien bernilai di atas 0.97, sedangkan pada frekuensi 20KHz, gradien bernilai di bawah 0.90. Hal ini menunjukkan pelemahan hasil pengukuran sinyal yang signifikan pada frekuensi 20KHz.

Pengujian lanjutan tentang respon OSD terhadap frekuensi sinyal V_{in} . dirangkum pada Gambar 7. Grafik ini menunjukkan rentang frekuensi (bandwidth) kerja OSD yang mampu mengukur dan menampilkan sinyal V_{in} tanpa distorsi. Hal ini ditunjukkan oleh perbandingan $V_{measmax}$, yaitu tegangan maksimum yang terukur oleh ODS apabila digunakan untuk mengukur tegangan masukan V_{in} pada nilai 1 V dan 5 V, bila frekuensi diubah dari nilai rendah ke nilai tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kemampuan pengukuran menurun signifikan pada frekuensi di atas 10 KHz.



(a)



(c)



(d)

Gambar 29. Distorsi sinyal $V_{measmax}$ pada berbagai frekuensi yang ditampilkan oleh osiloskop digital berbasis soundcard (a) 50 Hz (b) 2 KHz (c) 30 KHz

Perubahan bentuk gelombang $V_{measmax}$ terhadap frekuensi sinyal V_{in} ditunjukkan lebih jauh pada Gambar 8.a-c. Tampak bahwa pada frekuensi rendah, yaitu 50 Hz, bentuk gelombang $V_{measmax}$ serupa dengan bentuk V_{in} . Bila frekuensi V_{in} ditingkatkan, mulai tampak perubahan bentuk sinyal akibat keterbatasan kemampuan cuplik soundcard.

6 Daftar Pustaka

- [1] Bakshi, U.A., Bakshi, A.V., "Electronics Measurements and Instrumentation", Technical Publications, 2009
- [2] Hewlett Packard, "HP Pavilion g4 Notebook PC Maintenance and Service Guide", 2012.
- [3] Ogata, K., "Discrete Time Control System", 2nd ed., Prentice-Hall International, 1995.
- [4] Doebelin, E., O., "Measurement Systems: Application and Design". McGraw-Hill, 2004.

Perancangan Operator Training Simulator (OTS) dan Pengontrol PID Mini Plant Flow Menggunakan DCS

^{1,2}Suratmi, Maria Sri, ^{1,2}Annisa, Siti Aminah Fairuz, ^{1,2}Hadisupadmo, Sutanto, ^{1,3}Ekawati, Estiyanti

¹Program Studi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

²Laboratorium Manajemen Sistem Instrumentasi dan Kontrol (MSIK), Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

³Laboratorium Center for Instrumentation and Technology Automation (CITA), Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, Indonesia

mariasri_suratmi@yahoo.com, safairuz@yahoo.co.id, sutanto@tf.ac.id, esti@tf.ac.id

Abstrak

Industri proses tidak terlepas dari sistem kontrol yang pengoperasiannya dilakukan oleh operator. Peran operator yaitu mengawasi dan mengontrol kondisi proses agar tetap berada pada kondisi operasi yang diinginkan. Dibutuhkan latihan keterampilan dari operatornya agar mampu memahami karakteristik proses dan efek pengendaliannya dengan dampak risiko keselamatan kerja seminimal mungkin. Dengan demikian, kinerja sumber daya manusia dalam otomasi diharapkan meningkat melalui pelatihan uji simulasi virtual sebuah rancangan tanpa mengganggu plant riil di lapangan. Salah satu media pelatihan sebelum mengoperasikan plant riil dapat menggunakan Operator Training Simulator (OTS). Sebuah OTS merupakan suatu perangkat aplikasi yang mampu merepresentasikan proses aktual pada sebuah plant.

Pada kesempatan ini dilakukan perancangan OTS dan pengontrol pada Mini Plant Flow Laboratorium MSIK Teknik Fisika ITB menggunakan DCS Centum VP. Validasi model terhadap dinamika sistem dilakukan pada kondisi start-up dan diperoleh nilai Sum Square Error (SSE) terhadap data riil untuk parameter level dan temperatur tangki air panas, level dan temperatur tangki air dingin, dan temperatur air campuran berturut-turut adalah 0,0007; 0,4781; 0,0004; 2,2715; dan 0,0168. Pengontrol yang digunakan adalah PID dengan penalaan kalang terbuka Ziegler Nichols untuk kontrol temperatur air campuran. Adapun parameter proses yang dinyatakan dalam K , τ , t_d adalah sebesar 1,22; 22,99; dan 22,67. Besarnya parameter pengontrolan P, I, dan D yang diperoleh adalah 0,96; 43,34 sekon; dan 10,84 sekon. Besarnya waktu tunda (t_d), maksimum overshoot (M_p), dan settling time (t_s) yang diperoleh sebesar 152 sekon, 0,04%, dan 225 sekon.

Kata kunci: *Operator Training Simulator, mini plant flow, DCS Centum VP, pengontrol PID*

operasi yang diinginkan. Sehingga, latihan keterampilan diperlukan oleh operatornya agar mampu memahami karakteristik proses dan efek pengendaliannya dengan dampak risiko keselamatan kerja seminimal mungkin. Dengan demikian, kinerja sumber daya manusia dalam otomasi diharapkan meningkat melalui pelatihan uji simulasi virtual sebuah rancangan tanpa mengganggu plant riil di lapangan. Salah satu media pelatihan yang dapat digunakan yaitu *Operator Training Simulator* (OTS). Sebuah OTS merupakan suatu perangkat aplikasi yang mampu merepresentasikan proses aktual pada sebuah plant.

Mengingat pentingnya peran operator dan sistem kontrol, maka pada kesempatan ini dilakukan perancangan *Operator Training Simulator* (OTS) dan pengontrol pada *Mini Plant Flow* Lab MSIK Teknik Fisika ITB, sebuah miniatur plant yang dibangun sebagai media pembelajaran untuk melakukan pengukuran variabel proses dan perancangan sistem kontrol. *Mini Plant Flow* memiliki skala laboratorium dan variabel proses yang akan dikontrol adalah temperatur. Terdapat beberapa metode pengontrolan yang dapat diterapkan pada sebuah plant salah satunya yaitu metode *Proportional Integral Derivative* (PID). Pada industri proses, hampir 90% menggunakan metode ini [1], [2]. Oleh karena itu, metode pengontrolan temperatur yang digunakan pada pelaksanaan perancangan ini adalah pengontrol PID.

Pengontrol ini dirancang pada *Distributed Control System* (DCS) Centum VP yang terintegrasi dengan sebuah *Mini Plant Flow*. DCS memiliki kemampuan yang handal untuk melakukan sistem pengontrolan yang kompleks dan banyak digunakan dalam industri. Karena *Mini Plant Flow* yang ada hingga saat ini belum memiliki sistem

1 Pendahuluan

Industri proses tidak terlepas dari sistem kontrol yang pengoperasiannya dilakukan oleh operator. Peran operator yaitu mengawasi dan mengontrol kondisi proses agar tetap berada pada kondisi

kontrol, maka diharapkan menjadi salah satu metode kontrol yang tepat untuk *Mini Plant Flow* yang ada. Untuk perancangan OTS yang dilakukan diharapkan mampu merepresentasikan sistem aktual dari *mini plant flow* sehingga nantinya dapat memberikan nilai tambah sebagai media pembelajaran yang *user-friendly* serta mampu digunakan untuk melakukan tuning parameter pengontrol.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Persamaan Dasar

1.1.1 Keseimbangan Massa

Konservasi massa pada sistem dinamik atau sistem kontinu menyatakan :

$$\dot{m}_i - \dot{m}_o = \frac{dm}{dt} \quad (1)$$

dimana $\dot{m}_i$ merupakan laju aliran massa yang masuk ke sistem, $\dot{m}_o$ merupakan laju aliran massa yang keluar dari sistem, dan dm/dt merupakan rata-rata perubahan laju aliran massa terhadap waktu di dalam sistem. Prinsip kontinuitas memberikan hubungan antara kecepatan, densitas, ruang, dan waktu. [3]

1.1.2 Keseimbangan Energi

Konservasi energi merupakan Hukum I Termodinamika yang menyatakan :

$$E_i - E_o + E_p = E_t \quad (2)$$

dimana E_i =energi yang masuk ke sistem, E_o =energi yang keluar sistem, E_p =energi pembangkitan karena adanya penambahan kalor ke sistem, W_i =kerja yang mempengaruhi sistem di sekitarnya, E_s =rata-rata perubahan total energi sistem terhadap waktu.

1.1.3 Laju Aliran Fluida

Besarnya kecepatan aliran fluida mendekati nol pada dinding pipa dan mencapai maksimum pada tengah-tengah penampang aliran. Kecepatan dipengaruhi oleh besarnya penampang aliran. Jumlah massa fluida ditunjukkan sebagai laju aliran volume (Q) yang sebanding dengan luas penampang (A) yang dilewati dan besarnya kecepatan (V) dinyatakan dengan persamaan (3). [4]

$$Q = Av \quad (3)$$

2.2 Distributed Control System (DCS)

Distributed Control System (DCS) merupakan sistem kontrol untuk suatu *plant* atau proses dinamis lainnya yang selalu berubah terhadap waktu. Elemen kontrol DCS tidak terpusat pada wilayah tertentu, melainkan terdistribusi pada keseluruhan sistem. Secara garis besar konfigurasi DCS terbagi menjadi tiga bagian yaitu *Human Interface Station* (HIS), *Field Control Stations* (FCS), dan *Field Instrument*. DCS terdiri dari *Control Station* yang menjalankan algoritma kontrol termasuk data kendali lainnya dan *Operator Station* yang merupakan panel dimana operator mengoperasikan unit proses.

2.3 Proportional Integral Derivative (PID)

Proportional Integral Derivative (PID) merupakan salah satu kontroler untuk menentukan tingkat presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik tertentu. Kontroler ini menggunakan umpan balik atau *feed back* sistem. Pengontrol PID menggunakan sistem kontrol loop tertutup yang cukup sederhana dan kompatibel dengan sistem kontrol lainnya. Dalam waktu kontinu, sinyal keluaran PID dirumuskan sebagai berikut. [5]

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (4)$$

Pengontrol PID terdiri dari tiga komponen yaitu *Proportional* (P), *Integral* (I), dan *Derivative* (D). hanya komponen P saja yang dapat berdiri sendiri. Komponen P digunakan untuk mempercepat *settling time* dimana aksi koreksi yang dilakukan akan sebanding dengan besarnya *error*. Apabila sinyal *error* besar maka sinyal kontrol juga akan semakin besar. Komponen I digunakan untuk menghilangkan *off-set* respon sistem. Semakin besar nilai komponen I maka aksi pengontrol akan semakin lambat. Komponen I dapat menimbulkan *overshoot* dan respon sistem yang kurang stabil atau mengalami osilasi. Komponen D digunakan untuk mengurangi besarnya *overshoot* dan *undershoot*, meningkatkan kestabilan, mengontrol kecepatan perubahan proses, serta menghilangkan *error* kondisi tunak. Aksi pengontrol PID digunakan untuk memperoleh respon sistem kontrol cukup cepat, *overshoot* kecil, dan nilai *offset*-nya nol.

Penalaan kalang terbuka memiliki prinsip utama yaitu keluaran proses tidak hanya ditentukan oleh dinamika proses utama, melainkan juga ditentukan oleh dinamika sensor. Pada perancangan ini digunakan metode Ziegler-Nichols dan berikut nilai parameter penalaannya pada Tabel 1. [5]

Tabel 1 Parameter Penalaan Kalang Terbuka Ziegler-Nichols

Pengontrol	K _p	T _i	T _d
P	$\frac{1}{K} \frac{\tau}{t_d}$		
PI	$\frac{0.9}{K} \frac{\tau}{t_d}$	$3t_d$	
PID	$\frac{1.2}{K} \frac{\tau}{t_d}$	$2t_d$	$\frac{t_d}{2}$

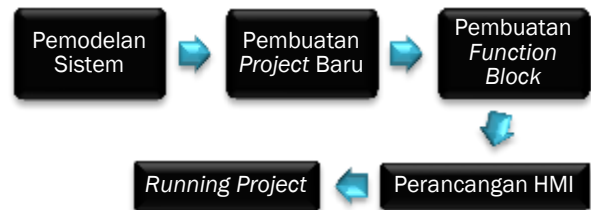
Dimana K adalah penguatan, τ adalah konstanta waktu, dan t_d adalah waktu tunda. Dengan penalaan tersebut, diperoleh nilai parameter proses K_p, T_i, dan T_d. Selain itu, %PB (*proportional band*) = 100/K_p, yang nilainya dimasukkan sebagai nilai parameter P. Untuk parameter I yaitu parameter T_i, dan parameter D yaitu parameter T_d. Nilai P, I, dan D yang dimaksud digunakan ketika melakukan *tuning* pengontrolan. Kontroler *tuning* PID merupakan suatu pengontrol yang digunakan untuk memperoleh besaran nilai K_p, T_i, dan T_d yang tepat terhadap aksi pengontrolan yang diberikan pada suatu sistem.

2.4 Operator Training Simulator (OTS)

Operator Training Simulator (OTS) merupakan suatu perangkat aplikasi yang dibuat untuk tujuan pelatihan operator. OTS digunakan untuk belajar bagaimana mengoperasikan sebuah unit operasi dalam berbagai kondisi termasuk keadaan darurat, kondisi *start-up* maupun *shutdown* atau suatu kondisi operasi yang jarang dijumpai dari kondisi normal. Dalam OTS, semua hal yang berhubungan dengan pengoperasian suatu unit proses *plant* riil dimodelkan dalam bentuk perangkat lunak. Pada Tugas Akhir ini, OTS dibangun menggunakan fitur yang terdapat pada perangkat lunak DCS Centum VP.

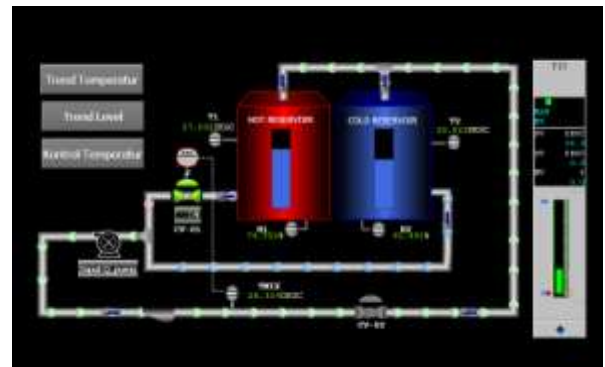
3 Metode Perancangan

Perancangan yang dilakukan terbagi menjadi dua bagian yaitu pembangunan simulator dan perancangan sistem kontrol. Bagian pertama yaitu pembangunan simulator dengan skema perancangan pada **Gambar 1** diagram blok berikut ini.



Gambar 31 Diagram Blok Pembangunan Simulator

Dalam pemodelan sistem dilakukan pemodelan matematis berdasarkan prinsip kesetimbangan massa dan energi terhadap kondisi riil *Mini Plant Flow* yang ditinjau [15]. Sub-sistem yang ditinjau antara lain Sub-Sistem Tangki Air Panas, Tangki Air Dingin, dan Pipa Percampuran Keluaran Tangki Air Panas dan Tangki Air Dingin. Kemudian, dilanjutkan identifikasi sistem untuk menentukan variabel terukur dan tidak terukur hingga penentuan nilai optimum parameter yang tidak dapat diukur. Selanjutnya, pembuatan *project* baru hingga *running project* dilakukan pada software DCS Centum VP dengan rancangan *Human Machine Interface* (HMI) pada **Gambar 2**.



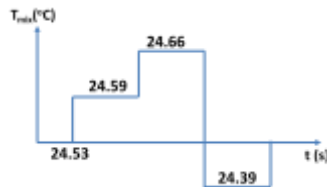
Gambar 32 Rancangan Human Machine Interface (HMI)

Bagian kedua yaitu perancangan pengontrol dengan menentukan kondisi, daerah operasi, dan identifikasi parameter pengontrol. Pengontrol yang dirancang adalah pengontrol PID Ziegler-Nichols kalang terbuka dengan formasi besarnya penguatan proportional, waktu integrasi, dan waktu tunda ditunjukkan pada **Tabel 1**.

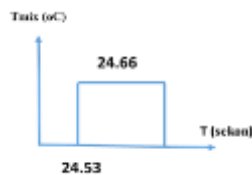
Tabel 6 Rancangan Pengontrol PID

Pengontrol	K _p	T _i (s)	T _d (s)
P	1,15	∞	0
PI	1,27	65,02	0
PID	0,96	43,34	10,84

Setelah nilai parameter komponen pengontrol diketahui, ditentukan bentuk perlakuan uji coba nilai parameter yaitu percobaan dua kali dan satu kali set *point tracking* untuk validasi data mengetahui tingkat kinerja pengontrolan yang diberikan pada *mini plant flow*.



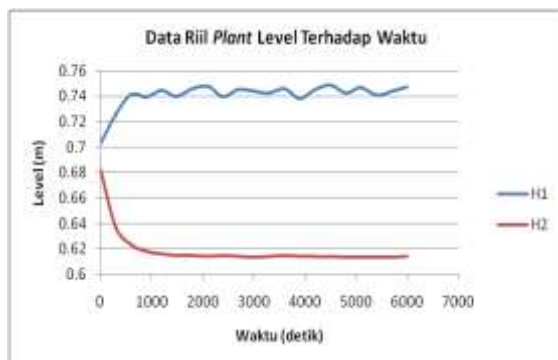
Gambar 33 Perlakuan Uji Coba Dua Kali Set Point Tracking



Gambar 34 Perlakuan Uji Coba Satu Kali Set Point Tracking

4 Hasil Simulasi dan Validasi Data

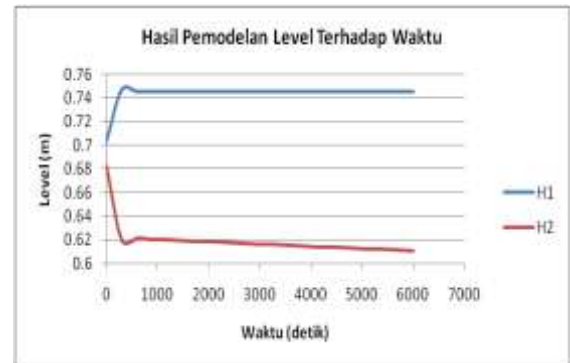
Hasil validasi simulasi model terhadap data riil *mini plant flow* dilakukan selama kondisi *start-up* hingga mencapai kondisi tunak untuk daerah operasi bukaan valve CV-01 40-70% pada frekuensi putaran pompa 25 Hz dengan waktu cuplik adalah 5 menit yang dilakukan selama 100 menit. Kondisi operasi simulasi yang ditinjau yaitu debit aliran campuran, level awal tangki air panas dan tangki air dingin, temperatur awal (tangki air panas, tangki air dingin, pipa campuran), serta bukaan Control Valve CV-01.



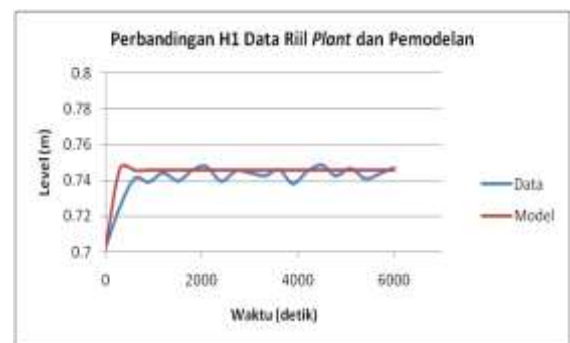
Gambar 35 Kurva Karakteristik Data Riil Plant Terhadap Waktu

Diperoleh nilai SSE terhadap data riil untuk parameter level dan temperatur tangki air panas,

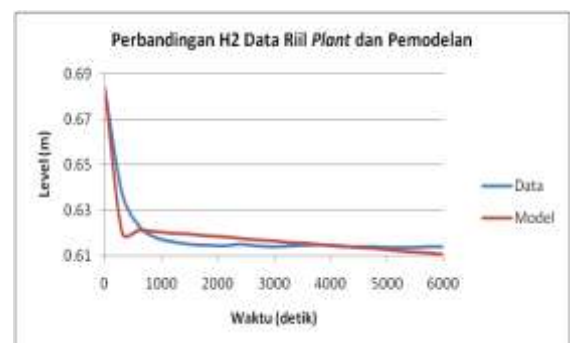
level dan temperatur tangki air dingin, dan temperatur air campuran berturut-turut adalah 0,0007; 0,4781; 0,0004; 2,2715; dan 0,0168.



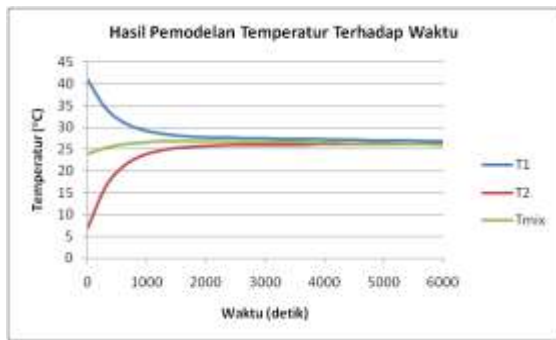
Gambar 36 Kurva Hasil Pemodelan Level Terhadap Waktu



Gambar 37 Kurva Perbandingan Level 1 Data Riil Plant dan Pemodelan



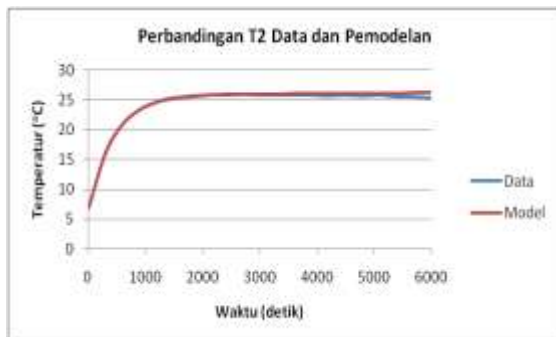
Gambar 38 Kurva Perbandingan Level 2 Data Riil Plant dan Pemodelan



Gambar 39 Kurva Hasil Pemodelan Temperatur Terhadap Waktu



Gambar 40 Kurva Perbandingan Temperatur 1 Data Riil Plant dan Pemodelan

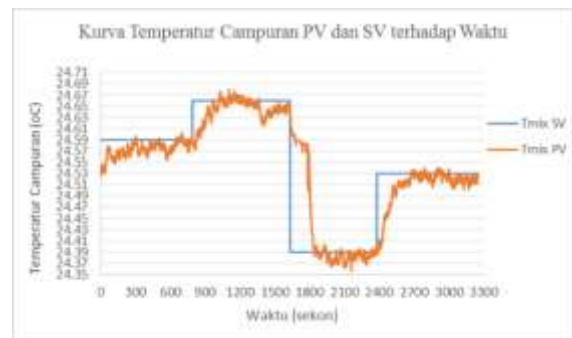


Gambar 41 Kurva Perbandingan Temperatur 2 Data Riil Plant dan Pemodelan

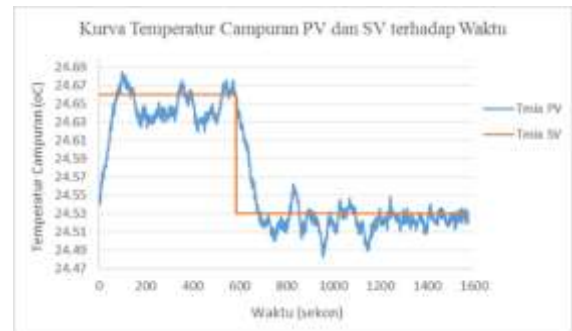


Gambar 42 Kurva Perbandingan Temperatur Campuran Data Riil Plant dan Pemodelan

Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa pengontrol PID Ziegler-Nichols hasil penalaan dapat mencapai *set point* yang diberikan dengan rentang variabel manipulasi CV-01 berada di daerah operasi pengontrolan 40-70% sesuai dengan identifikasi menggunakan karakteristik statik. Hasil rancangan pengontrol PID memiliki waktu tunda (t_d), maksimum overshoot (M_p), dan settling time (t_s) yang diperoleh sebesar 152 sekon, 0,04%; dan 225 sekon. Nilai tersebut diperoleh berdasarkan hasil uji *set point tracking* yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14 berikut.



Gambar 43 Kurva Temperatur Campuran Proses dan Setting Point Dua Kali Set Point Tracking



Gambar 44 kurva Temperatur Campuran Proses dan Setting Point Satu Kali Set Point Tracking

5 Kesimpulan

Telah dibangun sebuah *Operator Training Simulator (OTS) Mini Plant Flow* Laboratorium MSIK Teknik Fisika ITB berdasarkan hasil identifikasi sistem. Hasil validasi simulasi model terhadap data riil *mini plant flow* dilakukan selama kondisi *start-up* hingga mencapai kondisi tunak untuk daerah operasi bukaan valve CV-01 40-70% pada frekuensi putaran pompa 25 Hz. Hasil rancangan pengontrol PID dengan penalaan kalang terbuka Ziegler Nichols, dapat digunakan sebagai salah satu pengontrol *mini plant flow*. Besarnya parameter P, I, dan D yaitu 0,96; 43,34 sekon; dan 10,84 sekon dengan waktu tunda (t_d),

maksimum overshoot (M_p), dan settling time (t_s) yang diperoleh sebesar 152 sekon, 0,04%; dan 225 sekon.

6 Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, orang tua, civitas akademika Teknik Fisika ITB, serta segala pihak yang telah mendukung.

7 Nomenklatur

K	=	penguatan
K_p	=	penguatan proporsional
T_d	=	waktu tunda
T_i	=	waktu integrasi
t_d	=	waktu tunda proses
τ	=	konstanta waktu

8 Daftar Pustaka

- [1] I. Setiawan, "Kontrol PID untuk Proses Industri," 2008.
- [2] Z. ZHIPING, "Stabilizability and dominant pole placement by PID controllers," 2007.
- [3] W. L. Luyben, *Process modeling, simulation and control for chemical engineers*. McGraw-Hill Higher Education, 1989.
- [4] W. C. Dunn, *Fundamentals of industrial instrumentation and process control*. McGraw-Hill, 2005.
- [5] K. Ogata, *Modern control engineering 5th edition*. Lugar: Upper Saddle River, New Jersey 07458. Prentice Hall, 2009.
- [6] E. Nelson, C. Best, W. G. McLean, and M. Potter, *Schaum's Outline of Engineering Mechanics Dynamics*. McGraw Hill Professional, 2010.
- [7] W. E. Forsthofer, 3. *Forsthofer's Rotating Equipment Handbooks: Compressors*, vol. 3. Elsevier, 2005.
- [8] I. Karrasik and T. McGuire, *Centrifugal Pumps*. Chapman & Hall, 1998.
- [9] PT Yokogawa Indonesia, *Engineering Control Student's Textbook*. Jakarta, 2009.
- [10] N. A. Weiss and C. A. Weiss, *Introductory statistics*. Pearson Education, 2012.
- [11] J. F. Smuts, "Process control for practitioners," *Leag. City TX Opt. Inc*, 2011.
- [12] B. Bradu, P. Gayet, and S.-I. Niculescu, "A process and control simulator for large scale cryogenic plants," *Control Eng. Pract.*, vol. 17, no. 12, pp. 1388–1397, 2009.
- [13] J. Park and S. Mackay, *Practical data acquisition for instrumentation and control systems*. Newnes, 2003.
- [14] PT Yokogawa Indonesia, *Engineering Course Student's Workbook*. .
- [15] M. Sri Suratmi dan S. A. F. Annisa, "Perancangan Operator Training Simulator (OTS) dan Pengontrol PID Mini Plant Flow Menggunakan DCS", Bandung: Tugas Akhir Sarjana Teknik Fisika ITB, 2015.

'Phantom Virtual' Tomografi Elektrik Berbasis Konsep Rangkaian Resistor - II

¹Amanatulhay Pribadi & ²A.D. Garnadi & ³S. Nurdianti

¹Department of Electrical Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Department of Mathematics, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

³Department of Mathematics, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

¹amanatulhay.pribadi@gmail.com, ²agah.garnadi@gmail.com, ³s.nurdianti@gmail.com

Abstrak

Phantoms are essentially required to generate boundary data for studying the inverse solver performance in electrical impedance tomography (EIT). A resistive-based boundary data simulator (BDS) is developed to generate accurate boundary data using neighbouring current pattern for assessing the EIT inverse solvers. Domain diameter, inhomogeneity number, inhomogeneity geometry (shape, size, and position), background conductivity, and inhomogeneity conductivity are all set as BDS input variables. Different sets of boundary data are generated by changing the input variables of the BDS, and resistivity images are reconstructed using electrical impedance tomography and diffuse optical tomography reconstruction software (EIDORS).

Kata Kunci: EIT, BDS, EIDORS.

1 Pendahuluan

Untuk mempelajari *electrical impedance tomography* (EIT) dibutuhkan phantom sebagai pemodelan inverse untuk membangkitkan data. Apabila EIT bekerja dengan mengukur data tegangan pada *boundary* lalu menggunakannya untuk merekonstruksi distribusi konduktivitas objek, maka sebaliknya pada phantom yaitu objek sudah dimodelkan dan akan dibandingkan bagaimana data tegangan yang dihasilkan pada *boundary*. Simulasi dengan menggunakan phantom nyata memiliki kekurangan, misalkan data *error* dan tidak stabil di mana impedansi phantom dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Oleh karena itu, dirancang sebuah virtual network model yang lebih stabil dan konsisten menggunakan rangkaian listrik 2D.

Boundary data simulator (BDS) yang berbasiskan resistivitas dikembangkan untuk menghasilkan *boundary data* yang akurat tanpa adanya *error* yang dihasilkan instrumen. Dengan begitu, dapat lebih mudah untuk menghasilkan tegangan dengan berbagai variasi konduktivitas, inhomogenitas, dan geometri. Pada kenyataannya, sebuah objek EIT, misalkan bagian tubuh pasien, memiliki distribusi nilai konduktivitas yang kontinu. Namun, simulasi secara virtual dapat didekati dengan pemodelan diskrit sehingga pembuatan model phantom ini

dapat menggunakan susunan resistor diskrit dengan jumlah yang terbatas atau *finite* dengan konfigurasi yang diinginkan.

Gagnon dkk (2010) [2] dan Hahn dkk (2008) [3] secara independen menggunakan rangkaian resistor untuk digunakan sebagai phantom. Krammer dkk (2015) [5], menambahkan variabel resistor pada sejumlah komponennya, sehingga bisa menirukan perubahan karakteristik bahan di posisi tertentu. Hussain dkk, (1989) menyusun simulator phantom yang disusun bangun dari polygon beraturan, sekaligus menggunakannya untuk rekonstruksi citranya. Sementara Daniels (1996), mempergunakan HSPICE untuk simulasi object benda dimana penghampiran menggunakan susunan rangkaian resistor serupa kubus. Penyusunan phantom resistor fisik, antara lain digunakan untuk kalibrasi perangkat EIT. Pada paper ini, *resistive-based* BDS dikembangkan dengan menggunakan Multisim 11.0.

2 Model Phantom Model

Model Kontinum dan Diskretisasi Metode Finite Element

Jun Gu dalam papernya [6] memodelkan *Electrical Resistance Tomography* (ERT) sebagai model resistor diskrit dengan menggunakan metode FE (*finite element*). Persamaan yang mengatur medan arus pada sensor ERT secara umum adalah persamaan Poisson:

$$\nabla \cdot [\sigma(x, y) \nabla \phi(x, y)] = 0 \quad (1a)$$

di mana, $\sigma(x, y)$ adalah konduktivitas dua dimensi dan $\phi(x, y)$ adalah distribusi potensial elektrik.

Kondisi batas diberikan sebagai berikut (1b-1d),

$$\int_{\Gamma_1} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = I, \int_{\Gamma_2} \sigma \frac{\partial \phi}{\partial n} ds = -I, \quad (1b)$$

$$\phi|_{\Gamma_l} = \text{const.} (l=1,2,\dots,N), \quad (1c)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n}|_{\Pi} = 0 \quad (1d)$$

di mana, Γ_1 dan Γ_2 , adalah domain-domain elektroda untuk injeksi arus, Γ_1 adalah domain-domain elektroda untuk pengukuran tegangan, Π merepresentasikan domain-domain lain pada batas eksternal sensor.

Finite element model yang sesuai dengan persamaan (1) adalah

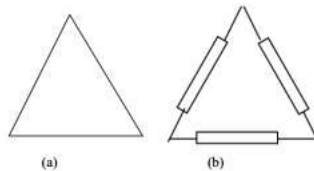
$$K^0 \phi = B \quad (2)$$

di mana K^0 adalah matriks koefisien, ϕ adalah potensial elektrik pada seluruh node dan B meliputi kondisi batas.

Entri untuk K^0 dapat dinyatakan sebagai

$$K_{i,j}^0 = \sum_{e \in E^0} K_{i,j}^e \quad (3)$$

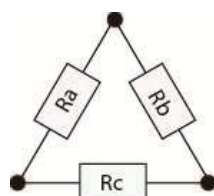
di mana $K_{i,j}^0$ adalah konduktansi antara node i dan node j untuk element e, yang mana merupakan fungsi dari konduktivitas elemen dan geometri elemen dan E^0 adalah set elemen.



Gambar1(a) elemen triangular pada FEM; **(b)** equivalent resistor network untuk elemen pada (a)

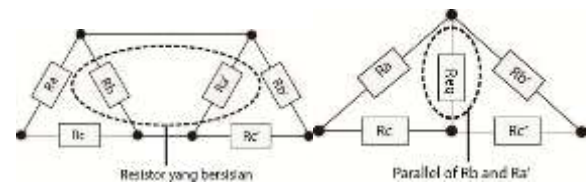
Untuk elemen-elemen triangular, dengan menganalisis entri pada (3), dapat disimpulkan bahwa resistor network yang ekuivalen untuk elemen adalah dengan tiga resistor seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Nilai resistor dapat diturunkan dari persamaan (3).

3 Virtual Discrete Phantom



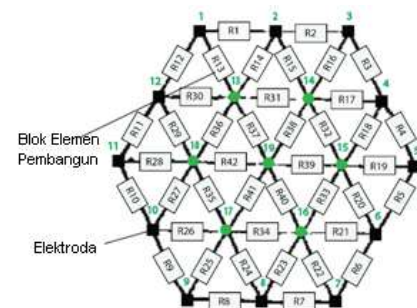
Gambar2 segitiga resistive building block

Gambar 2 mengilustrasikan segitiga *building block* sebagai elemen dasar pembangun poligon resistor. *Building block* resistor disusun oleh tiga resistor yaitu Ra, Rb dan Rc. Untuk mendapatkan rangkaian poligon diperlukan proses *assembly* beberapa *building block*. Dirangkai resistor elemen segitiga yang bersisian secara paralel untuk membentuk resistor poligon seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini. Gambar kiri memperlihatkan dua segitiga *building block* di mana terdapat dua resistor yang bersisian. Keduanya dapat diparalelkan menjadi satu resistor ekuivalen seperti gambar kanan.



Gambar3 proses *assembly* dua *building block* memanfaatkan aturan penjumlahan dua resistor paralel

Proses *assembly building block* satu demi satu melalui proses di atas dilakukan sehingga akan diperoleh poligon resistor sebagai phantom. Perhatikan bahwa proses penjumlahan paralel hanya berlaku untuk dua *building block* yang bersisian, sementara resistor tepi bukan merupakan resistor ekuivalen yang dihasilkan dari penjumlahan paralel dua resistor yang berasal dari *building block* pembangun.



Gambar4 skematik rangkaian resistor poligonal sebagai Phantom yang digunakan pada percobaan

Gambar 4 mengilustrasikan skematik rangkaian Phantom yang digunakan pada percobaan. Rangkaian secara keseluruhan merupakan heksagonal beraturan yang dibentuk oleh 24 segitiga sama sisi dengan jumlah node pada tepi adalah 12. Total resistor yang digunakan adalah 42 buah yang terletak pada sisi-sisi segitiga dengan besar hambatan yang dapat diubah-ubah.

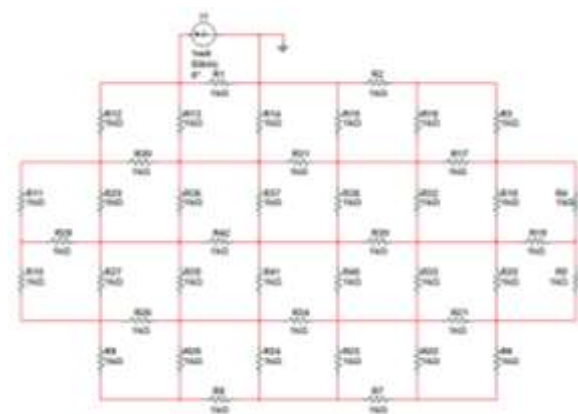
Node pada rangkaian berjumlah 19 terdapat pada titik-titik sudut segitiga.

Arus injeksi dialirkan pada rangkaian dengan menghubungkan positif dan negatif sumber arus pada pasangan dua node tepi yang bersebelahan. Dua belas elektroda diposisikan pada seluruh node tepi. Pada elektroda itu pula lah dilakukan pengukuran tegangan. Adanya impedansi pada tiap cabang rangkaian menyebabkan nilai tegangan yang berbeda. Data beda potensial masing-masing resistor ini didapatkan dengan melakukan simulasi pada Multisim 11.0. Penomoran resistor dan node dilakukan secara berurutan searah jarum jam dari luar hingga ke dalam, dimulai dari node dan resistor pada sisi heksagonal atas paling kiri sebagai node satu serta resistor satu dan seterusnya.

4 A Resistive-Based Boundary Data Simulator

Pada penelitian ini, *boundary data simulator* dirancang pada Multisim 11.0, yaitu sebuah perangkat lunak untuk mendesain rangkaian listrik dan melakukan simulasi rangkaian tersebut. Dengan adanya Multisim, virtual phantom 2D dapat dibangun dengan menggambarkan elemen rangkaian yang mudah divariasikan dan hasil simulasi yang stabil.

Multisim-based BDS ini terdiri dari 3 elemen utama: rangkaian resistor sebagai virtual phantom, sumber arus dengan sepasang node sebagai posisi injeksi arus, dan voltmeter sebagai pengukur tegangan pada elektroda tepi.



Gambar 5 Implementasi pada Multisim dari rangkaian poligon Gambar 4

Rangkaian virtual discrete phantom ditunjukkan oleh gambar di atas, yang merupakan implementasi Multisim dari rangkaian Phantom pada Gambar 4. Terlihat seluruh resistor yang menyusun rangkaian Phantom masing-

masing bernilai sama yaitu 1 k Ω sebagai model objek yang homogen. Nilai ini akan diubah pada simulasi rangkaian non homogen yaitu bernilai 22 k Ω untuk mengganti benda.

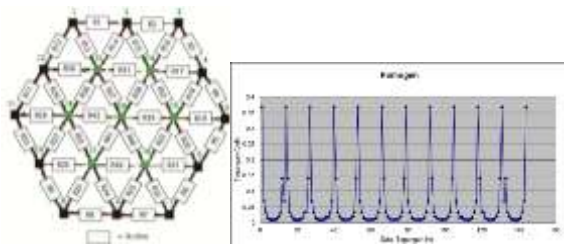
Arus listrik yang diberikan kepada rangkaian sebesar 1 mA berasal dari sumber arus AC. Sumber arus tersebut diatur berfrekuensi 50 kHz dan dipasangkan pada resistor yang menghubungkan dua node tepi *adjacent*. Negatif sumber arus dihubungkan pula pada *ground* sehingga memiliki tegangan 0 Volt. Pola arus divariasikan dengan mengubah letak injeksi pada sekeliling tepi secara berurutan. Pasangan node yang dipasangkan sumber arus bergantian secara berurutan dimulai dari node 1-2, 2-3, dan seterusnya hingga node 12-1.

Elemen utama yang terakhir dari Multisim-based BDS adalah voltmeter sebagai pembaca data beda potensial. Beda potensial ini terukur dengan menghubungkan dua node masing-masing resistor tepi (1 hingga 12) dengan voltmeter. Dua belas nilai ini dikumpulkan untuk masing-masing pola arus dan besar resistor.

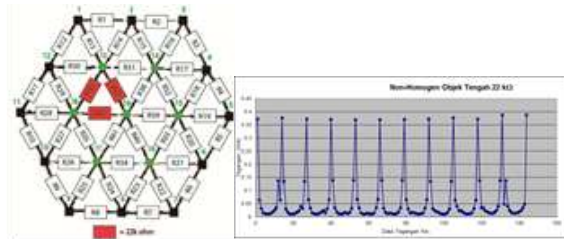
BDS berbasiskan rangkaian resistor dikembangkan untuk merangkai virtual discrete phantom dengan jumlah elemen yang terbatas dan input elemen yang variatif. Posisi dan besar resistansi dapat diubah dengan mudah untuk menyesuaikan homogenitas dan inhomogenitas objek yang diinginkan. Begitu pula pola arus dapat diubah untuk setiap iterasi simulasi. Data beda potensial yang dihasilkan oleh BDS akan dikumpulkan dan direkonstruksi oleh EIDORS.

5 Hasil dan Pembahasan

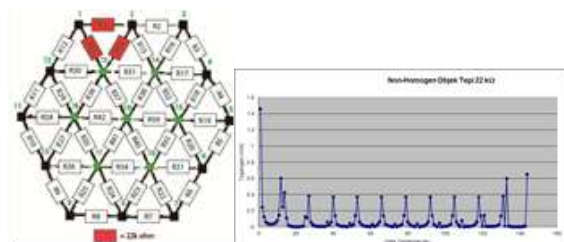
Pengujian *resistive-based* BDS dilakukan dengan menyimulasikan tiga macam model rangkaian yaitu rangkaian homogen dengan nilai resistansi 1 k Ω , rangkaian non homogen dengan objek di tengah rangkaian berresistansi 22 k Ω , dan rangkaian non homogen dengan objek di tepi yang berresistansi 22 k Ω . Rangkaian disimulasikan dengan 12 variasi pola sumber arus di mana masing-masing pola terdapat 12 data pengukuran. Oleh karena itu masing-masing rangkaian menghasilkan 144 data beda potensial secara berurutan dari pola satu hingga dua belas serta dari beda potensial resistor satu hingga beda potensial resistor dua belas yang membentuk grafik di bawah ini. Data hasil simulasi diilustrasikan dengan menggunakan grafik garis.



Gambar6ilustrasi(kiri) dan hasil simulasi (kanan)
rangkaian homogen



Gambar7 ilustrasi (kiri) dan hasil simulasi (kanan)
rangkaian non-homogen objek tengah



Gambar8ilustrasi (kiri) dan hasil simulasi (kanan)
rangkaian non-homogen objek tepi

Ketiga gambar di atas menunjukkan bahwa *boundary data* yang dihasilkan umumnya memiliki puncak beda potensial pada resistor di sekitar titik injeksi arus. Karena jumlah iterasi yang dilakukan adalah 12 pola arus, maka untuk setiap rangkaian akan ditemui 12 puncak grafik. Rangkaian dengan inhomogenitas menunjukkan pola grafik yang berbeda dari grafik homogen saat resistor yang berbeda berada pada tepi objek. Dari perbedaan ini dapat kita ketahui bahwa BDS lebih dapat mengenal adanya inhomogenitas di sekitar tepi dibandingkan pada sekitar pusat objek. Melalui hasil pengujian Multisim-based *boundary data simulator* dapat diketahui bahwa BDS ini mampu menghasilkan *boundary potential data* dari konfigurasi 2D *virtual discrete phantom* dengan praktis dan akurat tanpa adanya *noise* akibat lingkungan. Variabel input yang mudah untuk diubah serta singkatnya waktu simulasi termasuk beberapa poin tambah dari Multisim-based BDS. Salah satu hal penting yang perlu diperhatikan adalah resolusi atau jumlah elemen *phantom* karena semakin besar jumlah elemen *phantom* semakin tinggi pula akurasi dari BDS.

6 Kesimpulan

Sebuah *resistive-based boundary data simulator* dapat digunakan untuk pembangkitan data untuk menguji pemecahan *inverse problem* pada EIT 2D. BDS dapat digunakan dengan mengatur posisi dan besar resistorphantom sesuai konfigurasi objek yang diinginkan. Injeksi arus menggunakan pola *neighbouring* secara berurutan. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa *resistive-based* BDS berhasil mensimulasikan phantom EIT dan membangkitkan *boundary data* untuk setiap variasi non-homogenitas objek.

7 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai hibah penelitian PUPT-IPB dengan kontrak no 083/SP2H/PL/Dit.Litabmas/II/2015.

8 Daftar Pustaka

- [1] Daniels, A. R., R. G. Green, and I. Basarab-Horwath. (1996): "Modelling of three-dimensional resistive discontinuities using HSPICE." *Measurement Science and Technology* 7.3 338.
- [2] Gagnon, H., Cousineau, M., Adler, A., & Hartinger, A. E. (2010). A resistive mesh phantom for assessing the performance of EIT systems. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 57(9), 2257-2266.
- [3] Hahn, G., A. Just, J. Dittmar, and G. Hellige. (2008) "Systematic errors of EIT systems determined by easily-scalable resistive phantoms." *Physiological measurement* 29, no. 6: S163.
- [4] M.A. Hussain, B. Noble, B. Becker, (1989) *Computer Simulation of an Inverse Problem for Electric Current Computed Tomography using a Uniform Triangular Discretization*, Engineering in Medicine and Biology Society, 1989. *Images of the Twenty-First Century*, Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in. IEEE, 1989.
- [5] Péter Krammer, Andreas D. Waldmann, Michel Zogg, Péter L. Róka¹, Josef X. Brunner and Stephan H. Böhm, (2015), *Electrical impedance tomography simulator*, Proceedings EIT2015, p40.
- [6] Jun Gu, W Yin, Yannian Rui, Chao Wang, and Huaxiang Wang, "A New Resistor Network Based Forward Model for Electrical Impedance Tomography Sensors," *International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Singapore, 5-7 May 2009.

Optimasi Model Identifikasi Bahan Bakar Minyak Melalui Pemilihan Fitur

Dini Fakta Sari

STMIK AKAKOM Yogyakarta

Jl. Raya Janti 143, Yogyakarta.

dini@akakom.ac.id

Abstrak

Bahan Bakar Minyak (BBM) sangat penting dalam semua aktifitas ekonomi khususnya sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Jumlah kendaraan bermotor tiap tahunnya mengalami peningkatan sehingga mempengaruhi ketersediaan BBM. Pencampuran BBM akan mempengaruhi performa mesin kendaraan bermotor sehingga masyarakat harus mampu mengenali BBM yang berkualitas salah satunya dari bau BBM itu sendiri.

Penelitian ini, melanjutkan dari penelitian sebelumnya tentang sistem identifikasi odor/bau yang memiliki kekurangan yakni proses pembelajaran yang lama dan data uji seperti amoniak, alkohol dan minyak tanah. Optimasi model identifikasi BBM yang akan dibangun menggunakan algoritma *Back Propagation Neuron Networks* sebagai model pembelajaran dan *Principle Component Analysis* sebagai metode pemilihan fitur. BBM yang dijadikan data uji antara lain bensin, pertamax dan kerosin.

Penelitian ini menghasilkan model yang mampu mengidentifikasi BBM yang diujikan dengan optimasi model melalui pemilihan fitur dengan nilai akurasi sebesar 93%.

kata kunci : Bahan Bakar Minyak, Principle Component Analysis, Back Propagation Neuron Networks.

1 Pendahuluan

Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan komoditas yang memegang peranan sangat penting dalam semua aktifitas ekonomi khususnya sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Seiring dengan perkembangan teknologi pada dunia otomotif, terjadi peningkatan jumlah kendaraan bermotor tiap tahunnya sehingga ketersediaan BBM oleh pemerintah sangat berpengaruh. Permasalahan yang dapat muncul dari ketersediaan BBM yaitu sering terjadinya kelangkaan BBM di beberapa daerah, munculnya pangkalan pengisian BBM yang tidak resmi, penimbunan BBM dan pencampuran BBM dengan bahan yang dapat menyebabkan penurunan kualitas oleh oknum yang tidak bertanggung jawab. Berdasarkan permasalahan tersebut, masyarakat harus mampu mengenali BBM yang berkualitas salah satunya dari bau BBM itu sendiri.

Analisis kualitatif dan kuantitatif komposisi BBM dapat dilakukan dengan metode kromatografi gas. Permasalahannya adalah instrumen kromatografi gas tidak portabel dan biaya perawatan dan operasionalnya mahal. Implementasi *artificial neural network* pada *Field Programmable Gate Array* (FPGA) dalam sistem identifikasi odor [1]. Sistem gugusan sensor gas yang dikembangkan dapat mengidentifikasi jenis odor yang diujikan namun masih terdapat beberapa kelemahan yaitu waktu pembelajaran yang lama dan odor yang diujikan memiliki perbedaan bau yang sangat menyengat seperti amoniak, alkohol, dan minyak tanah. Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya yakni optimasi model identifikasi dengan menggunakan *Back Propagation Neuron Networks* sebagai model pembelajaran dan *Principle Component Analysis* sebagai pemilihan fitur pada ujicoba odor seperti bensin, pertamax dan kerosin.

Metoda *Principle Component Analysis* (PCA) sering digunakan untuk visualisasi hasil klasifikasi pada sistem identifikasi. PCA juga mampu memproyeksikan data sepanjang suatu arah dimana data tersebut memiliki varians yang tinggi. Pengujian pengaruh *Principle Component Analysis* terhadap tingkat identifikasi *neural network* pada sistem sensor gas [2]. Pengaruh yang dihasilkan yaitu dapat meningkatkan performa yang meliputi taraf identifikasi dan waktu yang diperlukan dalam fase pelatihan. Penggunaan metode PCA pada penelitian ini ditujukan untuk mengurangi dimensi data dengan mempertahankan sebanyak mungkin informasi dari dataset yang asli dari data Bahan Bakar Minyak yang dijadikan sebagai data uji.

Klasifikasi merupakan proses untuk menemukan sekumpulan model yang menjelaskan dan membedakan kelas-kelas data, sehingga model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi nilai suatu kelas yang belum diketahui pada sebuah objek [3]. Untuk mendapatkan model, dilakukan analisis terhadap data latih (*training set*). Data uji (*test set*) digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi dari model yang telah dihasilkan. Algoritma *Back Propagation Neuron Networks* merupakan algoritma pada *artificial neural network* dengan pembelajaran terawasi [4].

2 Diskusi

Bensin dan kerosin merupakan produk minyak bumi hasil proses distilasi. Dalam minyak bumi terdapat senyawa selain hidrokarbon yaitu senyawa organik yang mengandung belerang, oksigen, dan logam-logam. Pencampuran premium dengan kerosin dapat meningkatkan senyawa-senyawa belerang yang mengakibatkan beberapa kerugian sebagai bahan bakar motor seperti pembakaran membentuk Nitrogen Oksida (NO_x) dan Sulfur Oksida (SO_x). Penyebab tingginya pencemaran gas NO_x dari knalpot kendaraan bermotor ialah karena tidak sempurnanya pembakaran BBM dalam ruang bakar mesin, di mana pembentukan NO_x dipengaruhi oleh suhu pembakaran yang tinggi dan kelebihan udara yang tersedia. Adanya suhu tinggi reaksi pembakaran yang terjadi selalu disertai pembentukan gas-gas lain seperti gas SO_x. Kandungan gas SO_x sebanding dengan semakin besarnya jumlah kerosin yang diberikan. Kandungan gas NO_x sesuai dengan penambahan perbandingan premium dan kerosin yang diberikan [5].

Alat identifikasi odor secara umum terdiri dari sensor resonator kuarsa, *signal conditioning*, FPGA dan *display*. Sensor resonator kuarsa yang digunakan ada 3 buah, masing-masing sensor dihubungkan ke rangkaian osilator dan mixer. Frekuensi yang keluar dari rangkaian mixer akan menjadi data masukan ke FPGA. Pada FPGA terdapat beberapa proses yang terdiri dari frekuensi *counter*, pewaktu 1 detik, *latch*, *multiplexer*, program untuk serial *interface*, program pengujian *artificial neural network* dan program untuk LCD. Pembacaan frekuensi untuk masing-masing sensor ditampilkan pada komputer. Proses pembelajaran dari *artificial neural network* dengan model *Multi Layer Perceptron* dengan metode pelatihan *Back Propagation* dilakukan di komputer sedangkan proses pengujian *artificial neural network* dilakukan di FPGA yang hasilnya akan ditampilkan pada LCD yang terdapat pada *board* FPGA [1].

Metoda *Principle Component Analysis* (PCA) sering digunakan untuk visualisasi hasil klasifikasi pada sistem identifikasi. Metoda ini merupakan penurunan dari teknik *factor analysis* yang bertujuan untuk mengidentifikasi struktur dari banyak variabel menjadi data yang lebih sederhana. Metoda ini juga dikenal sebagai transformasi Karhunen-Loève atau transformasi Hotelling. PCA merupakan transformasi linier ortogonal yang mentransformasi data ke dalam koordinat sistem yang baru yang mana variasi yang paling banyak diperoleh dari proyeksi data pada koordinat prioritas utama (*principle component*) yang pertama, variasi kedua yang

terbanyak pada koordinat prioritas utama yang kedua dan seterusnya. PCA biasanya digunakan untuk mengurangi dimensi dari himpunan data tetapi juga mempertahankan karakteristik dari himpunan data tersebut dengan menjaga beberapa *principle component* yang tinggi prioritasnya dan membuang beberapa *principle component* yang rendah prioritasnya [2].

Ada beberapa metoda yang umum digunakan untuk mendapatkan *principle component* pada metoda PCA, yaitu metoda *covariance*, metoda korelasi dan *singular value decomposition*. Prosedur PCA dengan menggunakan metoda *covariance* [2] adalah sebagai berikut:

1. Menghimpun data eksperimen $X(M,N)$ yang memiliki dimensi tertentu yang berkesesuaian dengan variabel atau jumlah sensor yang digunakan (M) dan jumlah data (N).
2. Mengurangkan setiap data X dengan nilai *mean* $\bar{x}_m$ untuk masing-masing variabel atau sensor (m).

$$\bar{x}_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(m,n) \quad (1)$$

$$X = X - \bar{x}_m \quad (2)$$

3. Mendapatkan matriks *covariance* (C)

$$cov(X_1, X_2) = \frac{\sum_{n=1}^N (x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)}{(N-1)} \quad (3)$$

$$C = \begin{pmatrix} cov(X_1, X_1) & cov(X_1, X_2) & \dots & cov(X_1, X_M) \\ cov(X_2, X_1) & cov(X_2, X_2) & \dots & cov(X_2, X_M) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ cov(X_M, X_1) & cov(X_M, X_2) & \dots & cov(X_M, X_M) \end{pmatrix} \quad (4)$$

4. Mendapatkan *eigenvalue* (λ) dan *eigenvector* (V) dari matriks *covariance*

$$(C - \lambda)V = 0 \quad (5)$$

Teknik untuk mendapatkan *eigenvalue* dan *eigenvector* ini dapat digunakan beberapa metoda yaitu *power method*, *orthogonal iteration*, *QL method*, *Lanczos method*, dan *Jacobi's method*.

5. Mendapatkan *principle component* (PC)

$$PC_i = X.V_i^T \quad (6)$$

dengan PC_1 adalah *principle component* pertama, V_1 *eigenvector* dengan nilai *eigenvalue* terbesar.

Artificial Neural Network adalah paradigma pemrosesan informasi yang terinspirasi dengan cara biologi pada sistem saraf, seperti otak. Ilmuwan mencoba untuk meniru otak dengan kemampuan *artificial neural network*. Algoritma *Back propagation* paling banyak digunakan untuk algoritma pelatihan *multi-layered feedforward neuron networks*. Standar *back propagation* membutuhkan waktu untuk menyesuaikan dengan bobot antara unit-unit dalam jaringan untuk meminimalkan *Mean Square Errors* (MSE) antara output yang diinginkan dan output yang sebenarnya [6].

Algoritma pelatihan untuk jaring dengan satu lapis tersembunyi [1] menggunakan fungsi aktivasi tansig adalah sebagai berikut :

1. Inisialisasi semua bobot dengan bilangan acak kecil
2. Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, lakukan langkah 3-9.
3. Untuk setiap pasang data pelatihan, lakukan langkah 4-9.

Tahap pertama : propagasi maju

1. Tiap unit masukan menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi diatasnya.
2. Hitung semua keluaran di unit tersembunyi z_j ($j=1,2,...,p$)

$$z_net_j = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (7)$$

$$z_j = f_1(z_net_j) = \frac{e^{z_net_j} - e^{-z_net_j}}{e^{z_net_j} + e^{-z_net_j}} \quad (8)$$

3. Hitung semua keluaran jaring di semua unit y_k ($k=1,2,...,m$)

$$y_net_k = w_{0k} + \sum_{j=1}^p z_j \cdot w_{jk} \quad (9)$$

$$y_k = f_2(y_net_k) = \frac{e^{y_net_k} - e^{-y_net_k}}{e^{y_net_k} + e^{-y_net_k}} \quad (10)$$

Tahap kedua : propagasi mundur

1. Hitung faktor δ unit keluaran berdasarkan kesalahan di setiap unit keluaran y_k ($k=1,2,...,m$)

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_net_k) = (t_k - y_k) y_k (1 - y_k) \quad (11)$$

δ_k merupakan unit kesalahan yang akan dipakai dalam perubahan bobot lapis dibawahnya (langkah 8)

Hitung suku perubahan bobot w_{jk} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot w_{jk}) dengan laju percepatan.

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j$$

$$; k=1,2,...,m; j=0,1,...,p. \quad (12)$$

2. Hitung faktor δ unit tersembunyi berdasarkan kesalahan di setiap unit tersembunyi z_j ($j=1,2,...,p$)

$$\delta_net_j = \sum_{k=1}^m \delta_k \cdot w_{jk} \quad (13)$$

Faktor δ unit tersembunyi :

$$\delta_j = \delta_net_j f'(z_net_j) = \delta_net_j z_j (1 - z_j) \quad (14)$$

Hitung suku perubahan bobot v_{ji} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot v_{ji})

$$\Delta v_{ij} = \alpha \delta_j x_i ; j=1,2,...,p; i=0,1,...,n \quad (15)$$

Tahap ketiga : perubahan bobot

3. Hitung semua perubahan bobot
Perubahan bobot garis yang menuju ke unit keluaran :

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk}$$

$$(k=1,2,...,m ; j=0,1,...,p). \quad (16)$$

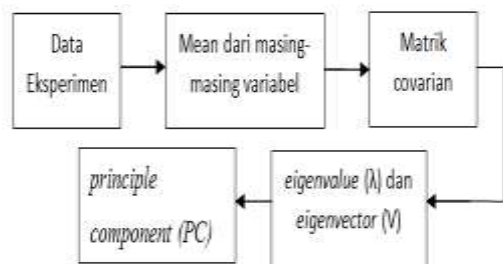
Perubahan bobot garis yang menuju ke unit tersembunyi :

$$v_{ij}(\text{baru}) = v_{ij}(\text{lama}) + \Delta v_{ij} (j=1,2,...,p ;$$

$$i=0,1,...,n) \quad (17)$$

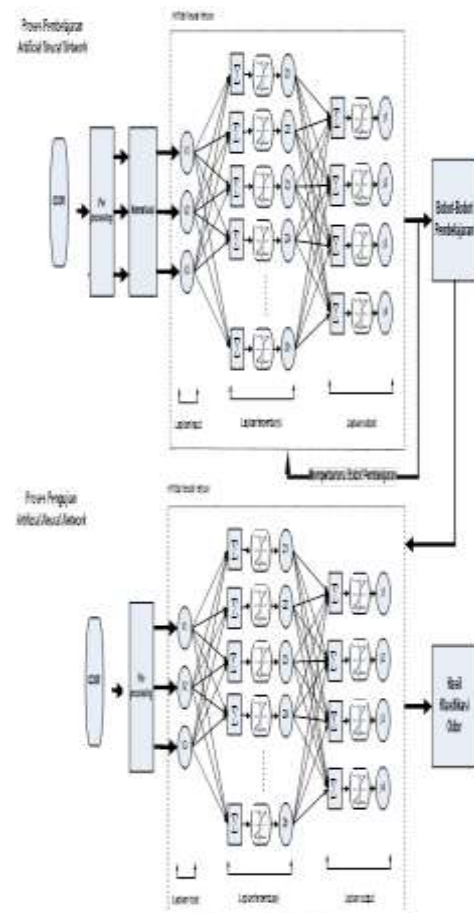
Setelah pelatihan selesai dilakukan, jaring dapat dipakai untuk pengenalan pola. Dalam hal ini, hanya propagasi maju (langkah 5 dan 6) saja yang dipakai untuk menentukan keluaran ANN.

Tahapan-tahapan dalam menentukan ekstraksi ciri/fitur menggunakan *Principle Component Analysis* dari Bahan Bakar Minyak dapat dilihat pada gambar hasil eksperimen di olah untuk mendapatkan nilai mean dari masing-masing variabel data tersebut, kemudian mencari nilai covarian dengan menggunakan rumus matrik covarian yang nantinya hasilnya akan digunakan untuk mencari nilai eigenvalue dan eigenvector, sehingga *principle component* dari data eksperimen dapat diperoleh.



Gambar 1 Tahapan Principle Component Analysis

Perancangan *Back Propagation Neural Network* dapat dilihat pada gambar. Proses *Back Propagation Neural Network* dibagi menjadi dua proses yaitu proses pembelajaran dan proses pengujian. Data hasil ekstraksi ciri Bahan Bakar Minyak akan dijadikan input pada proses pembelajaran ANN untuk mendapatkan bobot-bobot pembelajaran. Bobot-bobot akan terus diperbaharui sampai *epoch* yang ditentukan. Bobot-bobot yang didapatkan pada proses pembelajaran akan dipergunakan pada komputasi proses pengujian *artificial neural network* sehingga didapatkan hasil klasifikasi Bahan Bakar Minyak.



Gambar 2 Perancangan Back Propagation Neural Network

Hasil penelitian dengan pengambilan data uji menggunakan sensor resonator kuarsa dengan polimer cellulose, OV-275, dan PEG 1540 pada alat identifikasi odor dari hasil penelitian sebelumnya, dimana data yang akan dihasilkan akan di ekstraksi menggunakan *principle component analysis* untuk mendapatkan data set, yang nantinya akan digunakan untuk mengetahui seberapa optimal pengenalan polanya.

Hasil pengenalan pola menggunakan *Back Propagation Neural Network* dengan data input dari hasil ekstraksi ciri :

Pengujian	Epoch	MSE	Output Neuron (Pengujian)			Tingkat Akurasi Pengujian (%)
			Bensin	Minyak Tanah	Pertamax	
1	20	1.186	0.499181	0.834532	0.532499	76
2	40	1.188	0.403835	0.830431	0.512943	76
3	60	1.079	0.736469	0.675181	0.51701	77
4	80	0.998	0.361191	0.943818	0.484691	85
5	100	0.047	0.326097	0.797166	0.480419	93
6	120	0.047	0.888167	0.742063	0.475366	93
7	140	0.047	0.516244	0.679979	0.496882	93
8	160	0.047	0.510995	0.769231	0.507575	93
9	180	0.047	0.403684	0.764006	0.452695	93
10	200	0.047	0.210264	0.580951	0.498558	93

Hasil pengenalan pola menggunakan *Back Propagation Neural Network* tanpa ekstraksi ciri :

Pengujian	Epoch	MSE	Output Neuron (Pengujian)			Tingkat Akurasi Pengujian (%)
			Bensin	Minyak Tanah	Pertamax	
1	20	1.989	0.625341	0.459563	0.412678	70
2	40	1.689	0.625358	0.417201	0.398812	71
3	60	1.728	0.472938	0.39158	0.383604	70
4	80	1.897	0.677798	0.408038	0.380871	70
5	100	1.987	0.664946	0.386609	0.369523	70
6	120	1.683	0.650903	0.384923	0.369563	70
7	140	1.332	0.622157	0.369247	0.362436	86
8	160	0.987	0.706108	0.345438	0.369619	89
9	180	0.987	0.910292	0.335435	0.361711	89
10	200	0.987	0.69779	0.295777	0.356313	89

Berdasarkan hasil percobaan pada penelitian “Optimasi Model Identifikasi Bahan Bakar Minyak Melalui Pemilihan Fitur” , diperoleh nilai akurasi dalam mengidentifikasi bahan bakar minyak yang diujikan dapat dilihat pada gambar 4.4.. Model identifikasi bahan bakar minyak dengan pemilihan fitur memiliki nilai akurasi dalam mengidentifikasi bahan yang diujikan sebesar 93% sedangkan model identifikasi bahan bakar minyak tanpa pemilihan fitur memiliki nilai akurasi dalam

mengidentifikasi bahan yang diujikan sebesar 83%.



3 Kesimpulan

Kesimpulan hasil penelitian mengenai “Optimasi Model Identifikasi Bahan Bakar Minyak Melalui Pemilihan Fitur” sebagai berikut :

1. Bensin, Minyak tanah dan pertamax yang termasuk dalam Bahan Bakar Minyak, bila diidentifikasi menggunakan sistem penciuman manusia memiliki bau yang hamper sama sehingga untuk mengetahui secara akurat perbedaan odor dari bahan yang diujikan, diperlukan alat identifikasi odor.
2. Model yang diterapkan pada alat identifikasi odor dalam melakukan identifikasi bahan yang diujikan dengan menggunakan metode *Back Prpagation Neural Network*.
3. Model identifikasi bahan bakar minyak dengan menggunakan metode *Back Prpagation Neural Network*. dan pemilihan fitur pada proses *pre processing* memiliki nilai akurasi dalam mengidentifikasi bahan yang diujikan sebesar 93%.
4. Model identifikasi bahan bakar minyak dengan menggunakan metode *Back Prpagation Neural Network* tanpa pemilihan fitur pada proses *pre processing* memiliki nilai akurasi dalam mengidentifikasi bahan yang diujikan sebesar 83%.
5. Berdasarkan kedua model yang dibangun, maka dapat disimpulkan bahwa model identifikasi Bahan Bakar Minyak melalui pemilihan fitur lebih optimal di bandingkan model identifikasi Bahan Bakar Minyak tanpa pemilihan fitur.

4 Daftar Pustaka

- [1] Sari, DF., Rivai, M., Mujiono, T., 2010, "Implementasi Artificial Neural Network Pada Field Programmable Gate Array (FPGA) Dalam Sistem Identifikasi Odor", Tesis, Program Master, Teknik Elektro, ITS, Surabaya.
- [2] Rivai Muhammad, 2007, "Pengaruh Principle Component Analysis Terhadap Tingkat Identifikasi Neural Network Pada Sistem Sensor gas" TELKOMNIKA Vol.5, No.3, Desember 2007 : 159 - 167. ISSN :1693-6930.
- [3] Ismaya, Agny, 2005, " Analisis Dan Implementasi Optimal Brain Surgeon (OBS) Untuk Klasifikasi Pada Data Mining", *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Informatika, STT TELKOM, Bandung.
- [4] Misbah, 2009, " Implementasi FPGA sebagai Digital Interface Pada Sensor Gas Resonator Kuarsa Untuk Mendeteksi Amoniak", Tesis, Program Master, Teknik Elektro, ITS, Surabaya.
- [5] Dewi, YS. dan Budiyanti, T., 2010, " Pengaruh Campuran Kadar Kerosin Dalam Premium Terhadap Emisi Gas Sulfur Oksida Dan Nitrogen Oksida Pada Kendaraan Bermotor", Jurnal Limit's, FT, Universitas Satya Negara Indonesia, Volume 6 No.2 September 2010, ISSN 0216-1184.
- [6] Medhat Moussa, 2006, " On The Arithmetic Precision For Implementing Backpropagation Networks On FPGA : A Case Study", A C.I.P. Canada.

Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Industri Pupuk

¹Ronny Dwi Noriyati^{*}, ²Ontoseno Penangsang

¹Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

²Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

E-mail: onnydn@gmail.com^{*})

Abstrak

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik di Industri pupuk merupakan hal yang sangat penting untuk dapat menyalurkan tenaga listrik secara kontinu. Hal tersebut sangat diperlukan untuk mendukung kontinuitas operasional produksinya. Study kasus dilakukan di pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Pengumpulan data diambil dari data-data sistem kelistrikan di pabrik tersebut, kemudian data-data diolah sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi indeks keandalannya. Dengan analisis indeks keandalan dan kajian keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20 KV di pabrik III PT. Petrokimia Gresik didapatkan nilai SAIFI sebesar 0,1678 kali/tahun, Nilai SAIDI sebesar 7,2632 jam/tahun, dan nilai CAIDI sebesar 43.278 jam/tahun. Hasil tersebut bila dibandingkan dengan nilai standard IEEE 1366-1998, untuk nilai *outage frequency* yang terjadi masih lebih kecil, sedangkan nilai *outage duration* yang terjadi lebih lama. Namun bila dibandingkan dengan SPLN 59 : 1985, bahwa nilai indeks keandalan SAIDI dan SAIFI memiliki nilai lebih kecil dari nilai SPLN, sehingga sistem distribusi tenaga listrik yang ada di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik dapat dikatakan masih andal.

Key Word : Sistem Distribusi, indeks keandalan, SAIFI, SAIDI, CAIDI

1 Pendahuluan

Sistem distribusi tenaga listrik mempunyai peranan untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Oleh karena itu keandalannya sangat diperlukan dalam memenuhi kebutuhan listrik. PT.Petrokimia Gresik adalah salah satu industri pupuk terbesar di Indonesia. Unit produksinya terdiri dari tiga unit, yaitu unit produksi pabrik I, unit produksi pabrik II dan unit produksi pabrik III. Diantara ketiga unit tersebut, unit produksi pabrik III yang menghasilkan produk PA (Phosphoric Acid) sebagai bahan baku utama pupuk majemuk adalah unit yang sangat vital karena produksinya dipakai sebagai bahan baku utama pupuk majemuk NPK Phonska yang terbesar di Indonesia dengan kapasitas 2,8 juta ton pertahun. Keandalan komponen pabrik yang menunjang proses produksi yakni semua peralatan yang digunakan untuk proses produksi sangat berpengaruh terhadap kualitas dan kontinuitas produk yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut akan dilakukan perhitungan dan evaluasi

terhadap tingkat keandalan dari sistem distribusi tenaga listrik 20 KV di pabrik III PT. Petrokimia Gresik. Hasilnya akan dibandingkan dengan standard IEEE 1366-1998 dan SPLN 59 : 1985. Dengan demikian akan diketahui tingkat keandalan sistem distribusi di pabrik III PT Petrokimia Gresik apakah sudah memenuhi standard IEEE dan SPLN 59 : 1985 atau belum. Bila belum memenuhi standard akan dibuat program rencana perbaikannya. Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam besaran probabilitas. Indeks keandalan sistem yang digunakan untuk evaluasi antara lain : *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI), *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI), dan *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI).

2 Sistem Distribusi

A. Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi pada umumnya ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu pembangkitan, penyaluran (transmisi), dan distribusi. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen. Jadi, fungsi distribusi tenaga listrik adalah untuk pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan). Selain itu distribusi tenaga listrik merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui Jaringan Distribusi

B. Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik yang handal dan energi listrik dengan kualitas yang baik atau memenuhi standard, mempunyai kontribusi yang sangat penting dibidang industri yang semuanya itu dapat beroperasi karena tersedianya energi listrik. Perusahaan-perusahaan tersebut akan mengalami kerugian cukup besar jika terjadi pemadaman listrik secara tiba-tiba, dimana aktifitasnya akan terhenti atau produk yang dihasilkannya menjadi rusak atau cacat.

C. Indeks Keandalan

1. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

SAIFI adalah merupakan jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi setiap konsumen yang dilayani oleh sistem per satuan waktu dalam satu tahun.

SAIFI dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (1)$$

Dimana :

λ_i : laju kegagalan

N_i : jumlah konsumen pada saluran i

N : total konsumen pada sistem

2. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

SAIDI adalah merupakan nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap konsumen dalam selang waktu satu tahun.

SAIDI dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (2)$$

Dimana :

U_i :durasi terputusnya pasokan listrik

N_i :jumlah konsumen pada saluran i

N :total konsumen pada sistem

3. CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

CAIDI adalah merupakan indeks durasi gangguan konsumen rata-rata tiap tahun, menginformasikan tentang waktu rata-rata untuk penormalan kembali gangguan tiap-tiap konsumen dalam satu tahun.

$$CAIDI = \frac{SAIFI}{SAIDI} \quad (3)$$

D. Reliability Index Assesment

Metode Reliability Index Assessment (RIA) merupakan sebuah metode keandalan untuk memprediksi keandalan pada sistem distribusi.

Sebagai gambaran Input dan Output pada metode ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1. Input dan Output dari Metode RIA

E. Sistem Distribusi pada Pabrik III PT Petrokimia Gresik

Gangguan pada sistem distribusi dapat diakibatkan, beberapa hal antara lain karena kegagalan fungsi alat. Misalnya dapat diakibatkan karena faktor usia atau perawatan peralatan (preventive maintenance, predictive maintenance dan time base maintenance) yang kurang baik, human error (melakukan pekerjaan tidak sesuai SOP), faktor alam (hujan, cuaca dan gempa). Gangguan tersebut dapat mengakibatkan terputusnya aliran tenaga listrik, sehingga pada kondisi tertentu dapat mengakibatkan pabrik tidak dapat beroperasi. Sehingga target produksi tidak tercapai. Pada peralatan yang tidak handal karena usia dari peralatan tersebut sudah usang. Fleksibilitas jaringan penyaluran tenaga listrik yang masih belum sempurna karena switching yang diperlukan masih belum memadai. Khususnya di pabrik pupuk PT Petrokimia Gresik yang terjadi pada pabrik ada perubahan suplay yang sebelumnya dari pembangkit diluar pabrik III saat ini sudah bisa menggunakan pembangkitan sendiri dari batu bara. Perubahan ini perlu kajian untuk keandalan system distribusinya. Mengingat pabrik baru ini menggunakan bahan baku batubara sedangkan dari kondisi semula sebelumnya disuplai menggunakan dari pembangkitan dari gas. Hal inilah yang berpotensi mengganggu keandalan sistem apabila tidak didesain sesuai dengan kebutuhannya. Terjadinya gangguan dapat berakibat terputusnya suplai aliran tenaga listrik sehingga berakibat pabrik tidak bisa beroperasi. Hal ini yang sangat dihindari karena bisa berpengaruh terhadap target produksi pupuk yang seharusnya bisa dicapai. Sehingga dapat merugikan petani sebagai konsumen yang tidak bisa mendapatkan pupuk. Sehingga kebutuhan pangan secara nasional tidak terpenuhi.

3 Metodologi

1. Studi Kasus
Studi kasus dalam penelitian ini diambil di pabrik III PT Petrokimia Gresik, khususnya di Unit Phosphoric Acid (Asam Phosphat).
2. Pengumpulan data diambil dari data-data sistem kelistrikan di Unit Phosphoric Acid pabrik III PT Petrokimia Gresik.
3. Electrical Transient Analyzer Program
Software Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) berguna untuk melakukan berbagai analisis. Software ini dapat melakukan pemodelan, perencanaan dan

gambaran sistem kelistrikan yang ada di industri. Simulasi dalam perhitungan studi ini digunakan ETAP 12.6.OH.

Informasi data-data yang diperlukan antara lain :

1. *Number of Buses*

2. *Number of Branches :*

- *Line /cable*
- *Transformer*
- *Tie PD*

3. *Number of Sources*

- *Synchronous Generator*
- *Power Grid*
- *Inverter*

4. *Number of Load*

- *Synchronous Motor*
- *Induction Machine*
- *Static Load*
- *Lump Load*

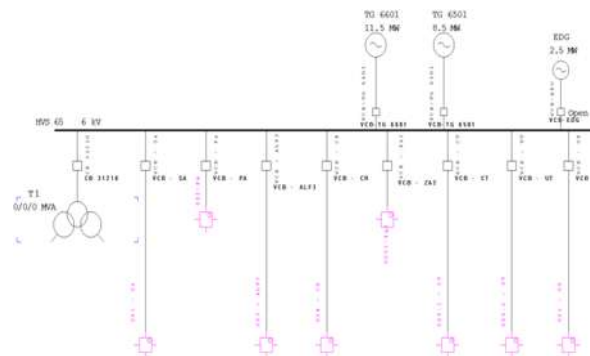
Adapun parameter yang dibutuhkan sebagai input data dari item 1 s/d 4 tersebut diatas adalah

- λ_A, λ_P
- *MTTR*
- *Switch Time*
- *Replacement Time*
- *Length cable*
- *Load Data Equipment*

4 Hasil dan Pembahasan

Data-data sistem kelistrikan di pabrik III PT. Petrokimia Gresik setelah diolah, diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Single Line Diagram pada pabrik III di Unit Phosphoric Acid PT. Petrokimia Gresik



Gambar 4.1 Single Line Diagram

2. Load data Subsystem Unit Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik

Tabel 1 Sub Sistem Pabrik III PT.Petrokimia Gresik

No	Sub System	Avg Load	Avg f $\lambda(f/year)$
1.	SS1	5,9	0,0615
2.	BPASS2	3,5	0,2515
3.	BUS 86	1,0	0,047
4.	SS4:1CR	2,9	0,0525
5.	SS5.1ZA2	2,6	0,1315
6.	BUS6KVCT	4,0	0,0635
7.	BUS 34	2,3	0,0560
8.	SS1SU	0,7	0,0547

3. Indeks Keandalan

Indeks keandalan adalah suatu besaran untuk membandingkan penampilan sistem distribusi. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai indeks frekuensi kegagalan rata-rata per tahun (SAIFI), nilai indeks lama kegagalan rata-rata per tahun (SAIDI), indeks durasi gangguan konsumen rata-rata per tahun (CAIDI) seperti table berikut :

Tabel 2 Nilai Indeks Keandalan

No	System Indeks	Nilai
1	SAIFI	0.1678
2	SAIDI	7.2632
3	CAIDI	43.278

- a. SAIFI = 0.1678 kali/tahun

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai indeks SAIFI sebesar 0,1678 kali/tahun. Hasil ini ternyata lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai standard IEEE 1366-1998 sebesar 1,10 kali/tahun. Jadi frekuensi terjadi interupsi di pabrik III PT. Petrokimia Gresik masih jauh lebih baik karena mempunyai nilai lebih kecil dari standard IEEE 1366-1998 dan SPLN 59 : 1985

b. SAIDI = 7,232 jam/tahun

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai indeks SAIDI sebesar 7,232 jam/tahun. Hasil ini ternyata jauh lebih besar bila dibandingkan dengan nilai standard IEEE 1366-1998 sebesar 1,50 jam/tahun. Jadi frekuensi lamanya terjadi interupsi di pabrik III PT. Petrokimia Gresik perlu ditinjau lagi karena mempunyai nilai lebih besar dari standard IEEE.1366-1998 Namun bila dibandingkan dengan SPLN 59 : 1985 masih lebih kecil sehingga masih cukup andal

c. CAIDI = 43,278 jam/tahun

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai indeks CAIDI sebesar 43,278 jam/tahun. Hasil ini ternyata jauh lebih besar bila dibandingkan dengan nilai standard IEEE 1366-1998 sebesar 1,36 jam/tahun. Jadi durasi terjadi interupsi di pabrik III PT. Petrokimia Gresik masih tinggi, sehingga perlu perbaikan lebih lanjut.

4. Usulan Program Perbaikan sebagai berikut :

Hasil perhitungan indeks keandalan di Unit Phosphoric Acid Pabrik III PT. Petrokimia Gresik bila dibandingkan dengan standard IEEE 1366-1998, maka dibuat usulan sebagai berikut :

Mengingat pabrik III adalah pabrik yang berbasis Phosphate, dimana proses produksinya menggunakan bahan baku padatan halus (Rock Phosphate dan belerang), maka lingkungan Pabrik sampai dengan radius 2 km masih terasa dampak paparan debunya. Hal ini yang sangat mempengaruhi operasional pabrik baik terhadap peralatan pabrik, manusia, SOP (Standard Operation Procedure), IK (Instruksi Kerja). Terutama sifat fluida dalam proses produksi mudah terjadi scalling, corrosive dan abrasive, maka perlu usulan program atau rencana perbaikan untuk mengurangi frekuensi dan durasi mati karena listrik agar tidak terjadi breakdown pada peralatan listrik sehingga pabrik tidak bisa beroperasi. Oleh karena itu perlu dilakukan usulan perbaikan sebagai berikut :

a. Agar diterapkan pada Manajemen Pemeliharaan Direktorat Produksi PT. Petrokimia Gresik dengan Pola Maintenance sebagai berikut :

- TPM (*Total Productive Maintenance*)

Yaitu melibatkan personel produksi dalam melakukan fungsi pemeliharaan alat dan lingkungan sekitar pabrik yang sifatnya ringan seperti kebersihan lingkungan dan alat-alat produksi agar terhindar dari dampak debu, korosi dan abrasi untuk menghindari *breakdown* peralatan.

- *Corrective Maintenance*

Membentuk Tim Analisis Vibrasi equipment

- *Preventive Maintenance*

Dengan melakukan fungsi sebagai berikut :

* *Time base maintenance*

* *Condition base maintenance*

* *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Hal tersebut diatas dimaksudkan untuk dapat mengurangi maupun menghindari *outage frequency* dan *outage duration* pada peralatan.

b. Evaluasi *Single Line Diagram* untuk menyempurnakan *safety devices* dan *Load shading*.

c. System Interruption & Automation

d. System Reconfiguration

e. Perlu dibuat SOP (*Standard Operation Prosedure*), IK (Instruksi Kerja) untuk melengkapi kekurangan, baik di Dept Har & Dept Produksi PT. Petrokimia Gresik

Sedangkan hasil perhitungan indeks keandalan bila dibandingkan dengan SPLN 59 : 1985 sistem distribusi di Unit PA Pabrik III PT. Petrokimia Gresik masih andal.

5 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan SAIFI, SAIDI dan CAIDI bila dibandingkan dengan standard IEEE 1366-1998 dapatlah disimpulkan bahwa keandalan sistem distribusi tenaga listrik di pabrik III PT Petrokimia Gresik berdasarkan penyebab pemadamannya dilihat dari outage frekuensi SAIFI = 0.1678 kali/tahun masih andal karena nilainya lebih kecil dari standard, Outage duration SAIDI = 7,232 jam/tahun kurang andal karena nilainya lebih besar dari standard dan CAIDI = 43,278 jam/tahun kurang andal karena nilainya lebih besar dari standard. Namun bila dibandingkan dengan SPLN 59 : 1985 nilai indeks keandalan pabrik III PT. Petrokimia Gresik masih andal.

6 Daftar Pustaka

- [1] C.Bhargava, P.S.R Murthy and V. Khrisna Murthy. Reliability Analysis of Distribution Automation on Different Feeders. Bonfring International Journal of Power Systems and Integrated Circuits, Vol. 1, Special Issue, December 2011. ISSN 2250 - 1088 | © 2011 Bonfring, pp 32-33
- [2] Dr. NDR Sarma. Distribution Automation. Power System Automation Lab. Materi Kuliah Distribusi Automation System.
- [3] Dugan, Roger C. Electrical Power System Quality. United States of Amerika Mc. Graw-Hill Companies, 1996
- [4] Gheschik Safiur Rahmat, Ontoseno Penangsang, IGN Satriyadi Hernanda. Evaluasi Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 KV Di Surabaya Menggunakan Loop Restoration Scheme. Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 2, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print), ppB-143144
- [5] Herdianto Prabowo, I.G.N. Satriyadi Hernanda, Ontoseno Penangsang. Dtudi Analisis Keandalan Sistem Distribusi PT. Semen Gresik-Tuban Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA) Dan Software ETAP (Electrical Transient Analysis Program). Proceeding Seminar Tugas Akhir Teknik Elektro FTI-ITS, 2012, pp 2
- [6] Putty Ika Dharmawati, Sjamsjul Anam, Adi Soeprijanto. Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV PT. PLN (Persero) APJ Magelang Menggunakan Static Series Voltage Regulator (SSVR). <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-22192-2208100020-Paper.pdf>, pp 2-3
- [7] Richard E Brown, Electrical Power Distribution Reliability, Second Edition, 1988 pp 46-48
- [8] Rukmi Sari Hartati, I Wayan Sukerayasa. Penerapan Metode Pendekatan Teknik Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Distribusi. Teknologi Elektro. Vol. 9 No.1 Januari - Juni 2010, pp 5
- [9] Standard PLN (SPLN) No. 68-2. 1986. Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik (bagian dua: Sistem Distribusi). Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi

Proses Auto Visual Inspeksi pada Engine Piston dengan Aplikasi Kamera dan Robot yang Terintegrasi

*Rahmat Kartolo¹, Fadli Hadi Purnomo²

¹Engineering Dept. Head

²RnD Dept. Head

PT Astra Otoparts Tbk Divisi Winteq

*Email : rahmat3110@yahoo.com , fadli95@gmail.com

Abstrak

Proses inspeksi merupakan hal yang terpenting dalam suatu proses produksi, hal ini menentukan produk tersebut dapat diterima oleh konsumen atau tidak. Banyak industri di Indonesia dalam proses inspeksi ini masih secara manual, yaitu dengan indera manusia. Tentu saja sangat berkaitan dengan kelelahan, kejenuhan dan daya konsentrasi atau biologis tubuh manusia. Sehingga mempengaruhi kualitas dan produktivitas dari suatu produk. Industri komponen kendaraan tidak lepas dari kondisi tersebut, salah satu industri pembuatan engine piston. Komponen ini merupakan komponen yang sangat penting dan presisi pada sebuah mesin, sehingga menuntut proses inspeksi yang ketat.

Teknologi Vision Sensor pada saat ini berkembang dengan pesat, teknologi ini bermuara pada pengolahan data pada gambar (image processing) yang diambil oleh sensor, berupa laser ataupun camera. Secara umum dari hasil image processing tersebut dapat digunakan untuk kebutuhan *Guide, Inspect, Gauge, Identification (GIGI)*.

Dengan ketatnya tuntutan kualitas dan produktivitas di industri pembuatan engine piston ini, maka Vision Sensor dapat menjadi salah satu solusinya. Diantara tuntutan kualitas engine piston tersebut diantaranya piston harus bebas dari cacat permukaan seperti penyok, goresan, kusam, yang tersebar di beberapa bagian permukaan piston, seperti bagian kepala, sisi samping, lubang pin sampai dengan 23 item. Piston juga sebagai komponen yang sangat presisi membutuhkan penanganan yang harus hati-hati terutama pada saat inspeksi, oleh sebab itu penanganannya menggunakan robot 6-axis. Pada proses inspeksi engine piston ini juga dibutuhkan sistem pengolahan data informasi yang menunjukkan piston mana dan bagaimana yang terdapat cacat, juga sebagai umpan balik kepada proses sebelumnya, sehingga setiap cacat yang ditemukan dapat langsung memberikan informasi sebagai inisialisasi perbaikan.

Kata Kunci: Engine Piston, Vision Sensor; Robot 6-axis; Pengolahan Data Informasi.

1 Pendahuluan

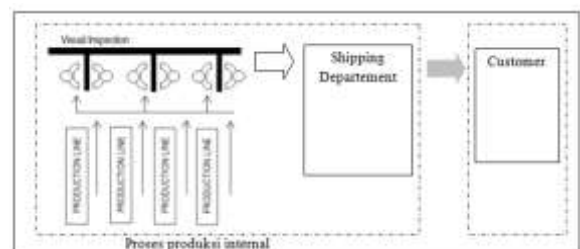
Piston merupakan komponen utama ruang bakar dalam kendaraan bermotor, berfungsi merubah energi kimia menjadi energi mekanik. Piston ini berhadapan langsung dgn proses pembakaran yang

biasanya dapat mencapai suhu 350°C, menderita gaya dan tekanan yang tinggi sebagai akibat tekanan ledakan hasil pembakaran. Piston ini harus bergerak bolak-balik dengan kecepatan yang berubah-ubah sesuai dengan tekanan pedal gas bekerja pada putaran tinggi s/d 10.000 rpm[1]. Sehingga piston ini didesain sangat presisi dan melalui proses inspeksi visual yang ketat.



Gambar 9 Piston pada mesin bakar

Di industri manufaktur piston, proses inspeksi visual dilakukan diakhir proses dari perjalanan produksi piston. Semua tipe piston akan melalui fase visual inspeksi sebagai bagian dari proses produksi sebelum fase pengiriman. Kritisnya fase ini menjadikan semua unit yang terlibat di dalamnya menjadi representasi kualitas produk piston secara keseluruhan tersebut.



Gambar 2 Alur kerja inspeksi visual

Proses inspeksi visual secara manual hanya dapat dilakukan pada waktu tertentu, yaitu pada shift 2 (07.00-16.00) dan shift 3 (16.00-24.00) terkait

dengan daya tahan manusia dan waktu biologis. Sehingga produktifitas produksi sangat dipengaruhi oleh proses inspeksi visual. Mengenai waktu biologis manusia, dalam ergonomi sistem kerja yang menggunakan indera atau tubuh manusia memiliki karakteristik sendiri, ada yang disebut dengan *fit the job to the man*. Tubuh manusia memiliki ritme biologis dimana pada jam-jam tertentu fungsi tubuh dapat berfungsi secara maksimal ataupun tidak efektif. Rtime biologis dipengaruhi internal tubuh manusia sendiri dan external. Faktor internal merupakan faktor yang berasal dari dalam diri individu. Beberapa peneliti percaya bahwa pusat internal dari ritme ini terletak di suatu area di otak, sedangkan faktor eksternal berhubungan dengan lingkungan natural di luar tubuh seperti siklus gelap-terang (siang-malam), suhu ruang, perubahan-perubahan musim, interaksi sosial dengan individu yang lain serta waktu/jam makan yang semuanya mempengaruhi siklus aktivitas fungsi-fungsi tubuh[2]. Terkait dengan itu agar proses inspeksi visual tersebut dapat efektif maka dibutuhkan proses otomasi yang dapat mewakili proses manual oleh tubuh manusia.

Teknologi Vision sensor dengan menggunakan kamera dapat menjadi alternatif yang dapat digunakan di banyak rekayasa teknik termasuk menggantikan inspeksi visual manual menjadi otomatis. Kamera sebagai salah satu vision sensor, merupakan seperangkat sistem yang memiliki fungsi untuk mengambil suatu objek menjadi sebuah gambar yang merupakan hasil proyeksi pada sistem lensa. Dalam dunia industri kamera digunakan dalam berbagai hal aplikasi, misalnya inspeksi, monitoring, pengecekan, pengarah posisi, dan masih banyak lagi.

Dalam proses inspeksi visual ini dibutuhkan alat untuk penanganan produk yang cukup presisi, agar kualitas produk tetap terjaga. Robot, salah satu aktuator yang memiliki keterulangan dan kepresisian yang baik. Robot industri atau disebut robot lengan pada dasarnya hanyalah gabungan dari motor dan system mekanik yang dikendalikan oleh perangkat kendali untuk bergerak berdasarkan target yang telah diprogram sebelumnya.

2 Tujuan Penulisan Makalah

Dalam makalah ini akan disampaikan beberapa hal penting yang diperhatikan dalam :

- Mengaplikasikan Vision Sensor sebagai fungsi penanganan material dan inspeksi visual secara otomatis.

- Pengolahan data inspeksi, agar mudah telusur dan terkini.

3 Batasan Pembahasan

Adapun batasan yang akan dibahas dalam makalah ini, yaitu :

- Aplikasi Vision Sensor sebagai pengarah robot 6-axis untuk penanganan engine piston secara otomatis.
- Pemilihan metoda Vision Sensor sebagai alat insepksi visual pada cacat permukaan di engine piston secara otomatis.
- Proses pengolahan data hasil inspeksi visual dengan Vision Sensor pada engine piston sehingga didapat data jumlah dan jenis kontribusi caacat permukaan yang terjadi.

4 Metodologi Penulisan Makalah

4.1 Studi Lapangan

Astra Otoparts sebagai produsen komponen otomotif memiliki anak perusahaan yang khusus memproduksi engine piston yang saat ini memiliki kapasitas produksi sebagai berikut :

Total produksi/hari : 42.000 Piston

Terdiri dari :

Tipe Motor : 33.300 Piston/hari

Tipe Gasoline : 4.200 Piston/hari

Tipe Diesel : 4.500 Piston/hari

Adapun waktu produksinya dilakukan selama :

Jam Kerja Produksi : 3 Shift/hari

Jam Kerja Inspeksi Visual: 2 Shift/hari

Kondisi tersebut melahirkan tuntutan proses otomasi pada proses inspeksi visual, dengan target dapat meningkatkan produktivitas dan menjaga kestabilan kualitas produk. Dari data diatas, tipe piston yang akan diotomastiskan proses inspeksi visualnya yaitu piston sepeda motor tipe KZLN. Dengan pertimbangan tipe piston ini yang paling banyak diproduksi.

Engine Piston memiliki anatomi atau area yang dibagi berdasarkan proses pembuatan dan fungsinya, diantaranya :



Gambar 3 Pembagian Area Piston



Gambar 4 Area Kepala Piston

- a. *Area Kepala*, pada area ini yang diinspeksi adalah :
 1. Tulisan benar atau salah (lengkap atau tidak),
 2. Tulisan tipe terbalik atau tidak,
 3. Baret,
 4. Penyok,
 5. Ada Chamfer atau tidak,
 6. Monoiri,
 7. SU di kepala,
 8. SU di lembah,
 9. Nokori casting,
 10. Blow Hole,
- b. *Area Samping*, pada area ini yang diinspeksi adalah :
 11. Baret,
 12. Out Diameter Finish (ODF) penyok,
 13. Ring Groove Penyok,
 14. Sekrap di ring groove,
 15. SU,
- c. *Area Lubang Pin*, pada area ini yang diinspeksi adalah :
 16. Baret,
 17. Nokori,
 18. SU,
- d. *Area Lubang Oli*, pada area ini yang diinspeksi adalah :
 19. Drill Displacement,

20. Drill Slip,
21. Drill Not Through,
22. No Drill Hole,
23. Drill Not Complete

Hal yang perlu diperhatikan juga selama melakukan inspeksi visual adalah piston tidak boleh langsung disentuh oleh tangan operator dan harus ditangani dengan hati-hati, karena penanganan yang tidak baik dapat menyebabkan cacat.

4.2 Studi Literatur

Kamera sebagai Vision Sensor

Beberapa fungsi kamera sebagai vision sensor, diantaranya :

- a. *Guide*, kamera sebagai pengarah sistem.
- b. *Inspect*, kamera sebagai alat inspeksi.
- c. *Identification*, kamera sebagai alat untuk mengenali suatu objek.
- d. *Gauge*, kamera sebagai alat ukur.

Parameter dari sebuah sistem aplikasi sensor kamera terdiri dari :

- a. Kamera
- b. Lensa
- c. Metode Pencahayaan

Istilah pada sistem kamera :

- a. *Working Distance (WD)*, jarak benda kerja dengan kamera
- b. *Field-of-View (FOV)*, luasan area yang terambil gambarnya oleh kamera
- c. *Depth-of-Field (DOV)*, kedalaman objek yang diambil gambarnya
- d. *Resolution*,
- e. *Accuracy*, ketelitian kamera dalam mengolah objek gambar.

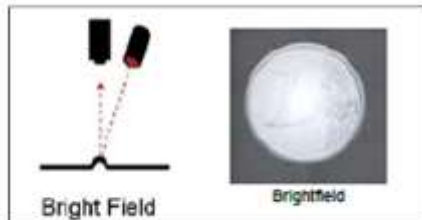


Gambar 5 Istilah Pada Sistem Kamera

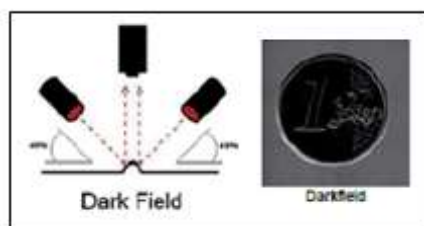
Pada aplikasi kamera, dikenal beberapa metode pencahayaan yang digunakan, diantaranya :

1. *Bright Field*

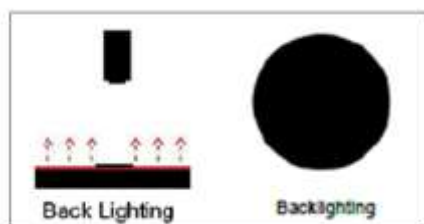
2. Dark Field
3. Back Lighting
4. Diffuse Dome
5. Axial Diffuse



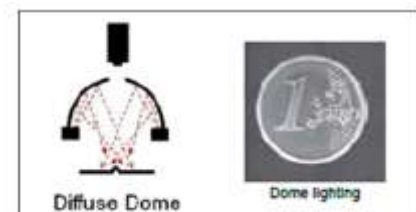
Gambar 6 Pencahayaan tipe Bright Field



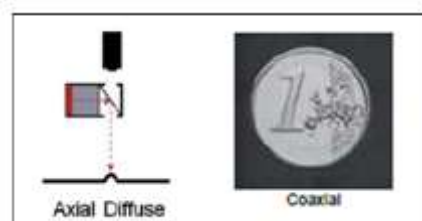
Gambar 7 Pencahayaan tipe Dark Field



Gambar 8 Pencahayaan tipe Back Lighting



Gambar 9 Pencahayaan tipe Diffuse Dome



Gambar 10 Pencahayaan tipe Axial Diffuse

Robot industri 6-axis

Definisi robot industri, yaitu suatu alat atau mesin yang dapat melakukan tugas fisik, baik menggunakan pengawasan / control manusia, ataupun menggunakan program yang telah didefinisikan, dapat di program kembali dan memiliki minimal 3 derajat kebebasan.

Beberapa tipe robot industri, diantaranya :

- a. Cartesian robot adalah robot yang dapat melakukan 3 translasi dengan menggunakan Linear Slides.



Gambar 11 Cartesian Robot

- b. Scara robot adalah robot yang dapat melakukan 3 translasi plus satu rotasi pada sumbu vertikal.



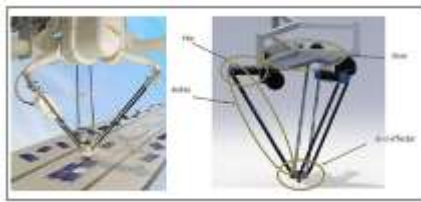
Gambar 12 Scara Robot

- c. Robot 6-axis adalah robot yang sepenuhnya dapat bergerak dengan memiliki 3 translasi dan 3 rotasi.



Gambar 13 Robot 6-axis

- d. Delta robot adalah seperti laba-laba, dibangun dari jajaran genjang yang bersendi dan terhubung ke satu base, memiliki satu end effector dan bertranslasi x,y,z tanpa rotasi, biasa digunakan dalam area kerja yang berbentuk kubah seperti makanan, farmasi, dan komponen elektrik.



Gambar 14 Delta Robot

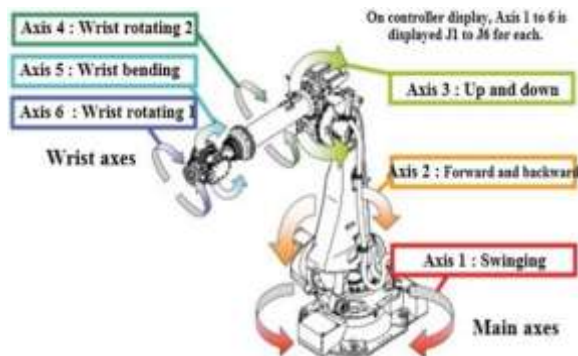
- e. Dual arm Robot adalah robot yang terdiri dari dua buah lengan yang dapat bekerja sama pada benda kerja yang diberikan.



Gambar 15 Dual Arm Robot

Mengenal Pergerakan Robot 6-axis, diantaranya :

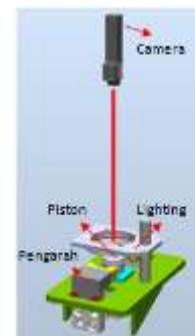
- Interpolasi Joint, robot bergerak berdasarkan perintah pada axis-axis robot.
- Interpolasi Linear Robot, robot bergerak berdasarkan perintah secara garis lurus suatu titik ke titik lainnya.
- Interpolasi Linear Tool, robot bergerak berdasarkan perintah tool (gripper) dari satu titik ke titik lainnya.



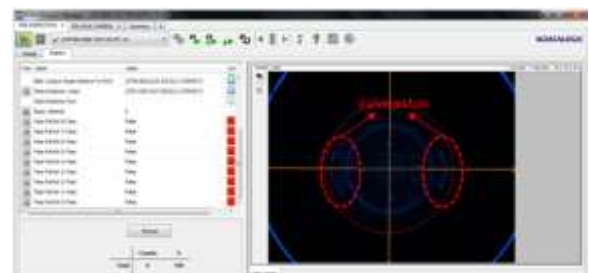
Gambar 16 Axis pada Robot 6-axis

keranjang) ke posisi tertentu, sehingga piston dapat duduk tepat di atas fixture. Beberapa tahapan proses yang dilakukan dalam aplikasi Vision Guide Robot, diantaranya :

Tahapan pertama mastering, dilakukan pengamabilan gambar objek piston di station orientasi dengan orientasi tertentu (nol derajat) yang telah disesuaikan dengan kebutuhan posisi fixture. Disini digunakan salah satu objek gambar sebagai penentu yaitu arah valve piston. Lighting diatur ketinggiannya terhadap permukaan atas benda kerja agar menghasilkan gambar seperti gambar di bawah ini.



Gambar 18 Posisi Camera dengan Piston di stasiun orientasi



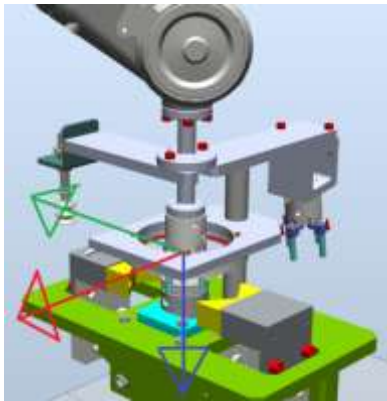
Gambar 19 Gambar Master

Tahapan kedua alignment robot, memposisikan gripper robot sejajar dan satu sumbu serta satu orientasi diatas piston master kemudian menyimpan posisi tersebut di program robot, sebagai nol derajat gripper.

5 Pembahasan dan Hasil Makalah

5.1 Penanganan Material

Untuk penanganan piston pada saat akan di inspeksi secara otomatis digunakan aplikasi Vision Guide Robot (VGR), yaitu kamera difungsikan sebagai pengarah robot agar dapat menempatkan piston pada posisi orientasi yang acak (dari



Gambar 20 Alignment Robot

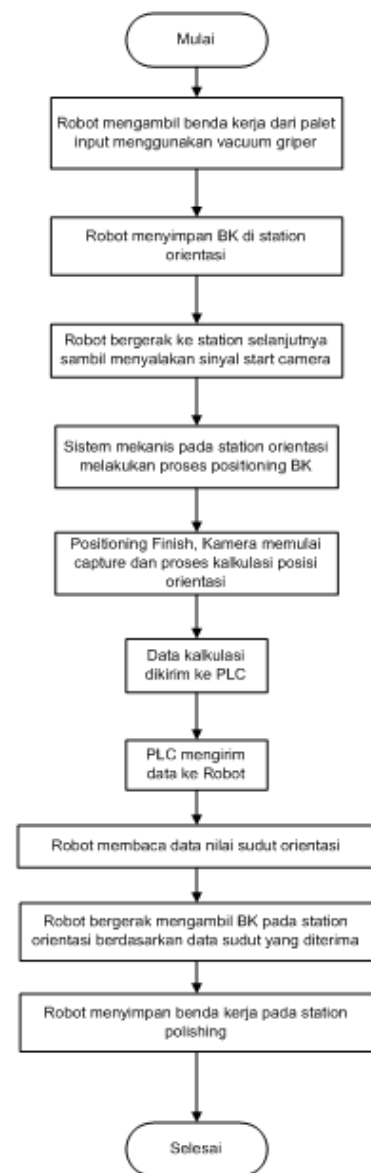
Hal yang menunjang kestabilan sistem VGR adalah penggunaan yang tepat pada instruksi program serta kesesuaian dengan arah gerak robot. Pada robot 6-axis terdapat arah gerak X Y dan Z. Pada gambar dibawah arah X ditunjukan garis panah berwarna merah, Y berwarna hijau dan Z berwarna biru. Penyesuaian orientasi berada pada arah Z, dimana garis biru yang dibentuk dalam ilustrasi diatas merupakan sumbu putar orientasi. Pada robot ABB sumbu putar Z disebut dengan istilah RZ.

Adapun instruksi pada robot yang merupakan proses penyesuaian adalah sebagai berikut:

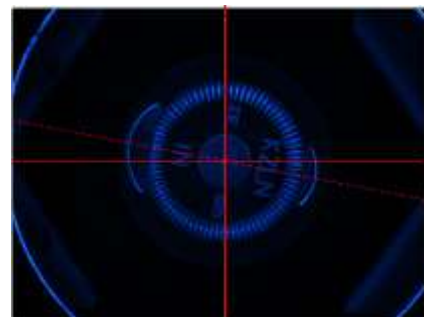
MoveL RelTool (TAKE_ORIENTATION_CAM,0,0,0 \Rz:=sudut)
a b c

- Pergerakan linear (lurus)
- Posisi berada tepat di titik target TAKE ORIENTATION (titik 0,0,0)
- Pada titik target tersebut, putar orientasi sesuai sumbu Z dengan nilai derajat sesuai variabel "sudut".

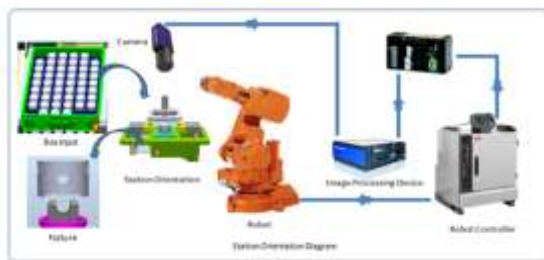
Adapun alur kerja dari system VGR dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 21 Alur Kerja VGR



Gambar 22 Orientasi Piston yang menyimpang



Gambar 23 Diagram Sistem VGR

5.2 Aplikasi Kamera untuk Inspeksi Visual secara Otomatis

Dari hasil pengelompokan metode check pada jenis cacat permukaan pada piston diperoleh :

Area Check	Fungsi Check			
	Guide	Inspect	Gauge	Identify
a. Area Kepala:				
1. Tulisan benar atau salah (lengrap atau tidak).				✓
2. Tulisan tipe terbaik atau tidak.				✓
3. Baret.		✓		
4. Penyok.		✓		
5. Ada Chamfer atau tidak.		✓		
6. Monosi.		✓		
7. SU di kepala.				✓
8. SU di lembah.				✓
9. Nokori casting.				✓
10. Blow Hole.				✓
b. Area Samping:				
11. Baret.		✓		
12. Out Diameter Finish (ODF) penyok.		✓		
13. Ring Groove Penyok.		✓		
14. Sekrap di ring groove.				✓
15. SU.				✓
c. Area Lubang Pin:				
16. Baret.		✓		
17. Nokori.				✓
18. SU.				✓
d. Area Lubang CV:				
19. Drill Displacement.		✓		
20. Drill Slip.		✓		
21. Drill Not Through.				✓
22. No Drill Hole.				✓
23. Drill Not Complete.		✓		

Gambar 24 Tabel Metode Check

Dari tabel diatas, dapat diambil referensi untuk penggunaan metode pencahayaannya adalah :

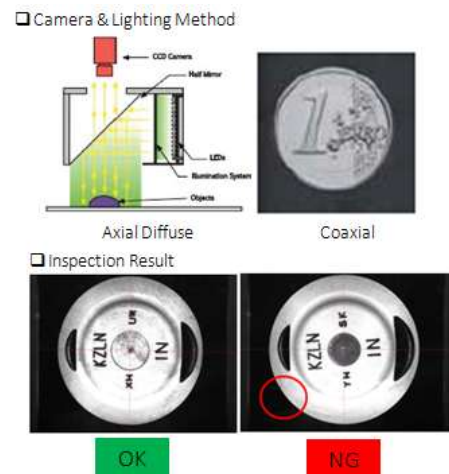
Bright Feild, Diffuse Dome untuk Inspeksi dan Axial Difuse untuk Identifikasi.

Kemudian untuk menentukan resolusi kamera, dengan kebutuhan FOV (area yang akan diinspeksi) $\pm 30 \times 30$ mm, dengan keakurasian yang dibutuhkan 30 mikron, maka dibutuhkan kamera dengan resolusi sekitar 1,5 Mega Pixel (MP). Sehingga diperoleh kebutuhan kamera dan lightingnya :

A. Area Kepala; menggunakan 2 jenis kamera

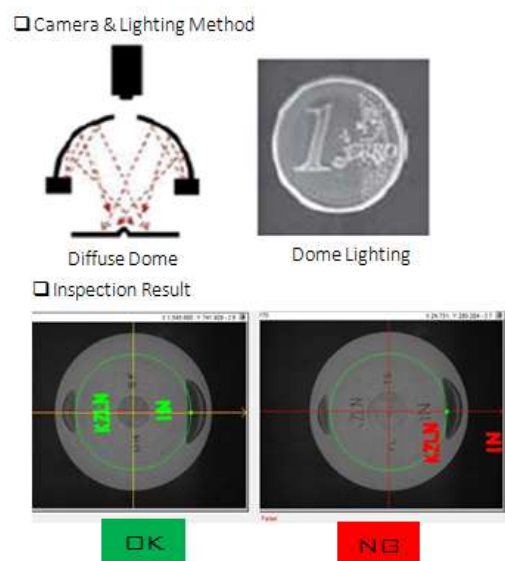
Kamera 1 : M150, Gig-E, 1296 x 966, 30 FPS, Grayscale, 1/3" CCD Datalogic
Lens : Regular Lens

Deteksi : Baret, Penyok, Monosi, SU, Nokori casting, Blow Hole



Gambar 25 Pencahayaan dan Hasil Gambar Kamera 1

Kamera 2 : M150, Gig-E, 1296 x 966, 30 FPS, Grayscale, 1/3" CCD Datalogic
Lens : Regular Lens
Deteksi : Tulisan, Chamfer

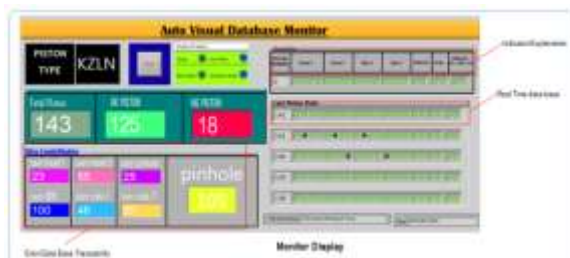


Gambar 26 Pencahayaan dan Hasil Gambar Kamera 2

B. Area Samping; menggunakan 2 kamera yang sama untuk inspeksi sisi kanan dan sisi kiri

Kamera 3 : M180C, Gig-E, 1628 x 1236, 20 FPS, Color, 1/1.8" CCD Datalogic
Lens : Regular Lens

Data yang diterima oleh PC sudah dapat langsung diolah dalam format Microsoft Excel (*.xlsx). Data base ini akan disimpan dalam file Microsoft Excel dan secara otomatis file akan dinamai sesuai dengan tanggal dan jam ketika proses collecting data base dimulai (12112015-17.45 : Tanggal 12, Bulan November, Tahun 2015, Pukul 17.45). Banyaknya data base yang disimpan dapat dibatasi, dalam aplikasi di sistem ini data base akan dihapus secara otomatis dalam jangka waktu 1 (satu) tahun . Data base ini dapat di download serta dijadikan histori dan bahan analisis bagi customer.

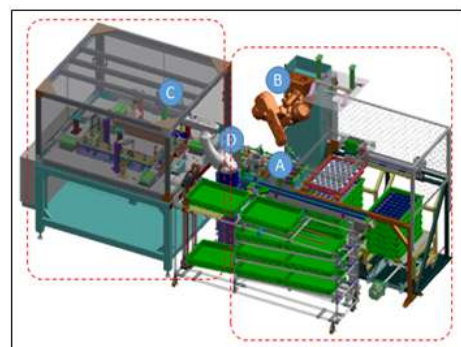


Gambar 31 Display Monitor pada Mesin Inspeksi

6 Kesimpulan

Beberapa yang perlu diperhatikan dalam membangun suatu sistem inspeksi visual dengan menggunakan aplikasi kamera, diantaranya :

- Objek yang akan di inspeksi harus benar-benar bersih dari kontaminasi luar, seperti kotoran, tulisan, jamur, dll. Hal tersebut dapat dibaca oleh kamera menjadi sebuah cacat. Oleh sebab itu dalam sistem ini ditambahkan pre-inspeksi untuk memastikan piston bersih dan kering.
- Terkait dengan penggunaan sistem kamera, dimana sistem/area tersebut telah dikondisikan pencahayaannya, temperatur dan kelembapannya. Adapun tuntutan kondisi lingkungan untuk sistem ini adalah :
Temperature : 23 °C
Humidity : 50 %
Lighting Intensity : 800 lumen



Gambar 32 Layout Mesin Auto Inspeksi Visual

A. Proses Pre-Inspeksi

- ✓ Pemebersihan dan Pengeringan
- ✓ Vision Guide Robto (VGR)
- ✓ Inspeksi Area Pin Hole

B. Fungsi Robot #1

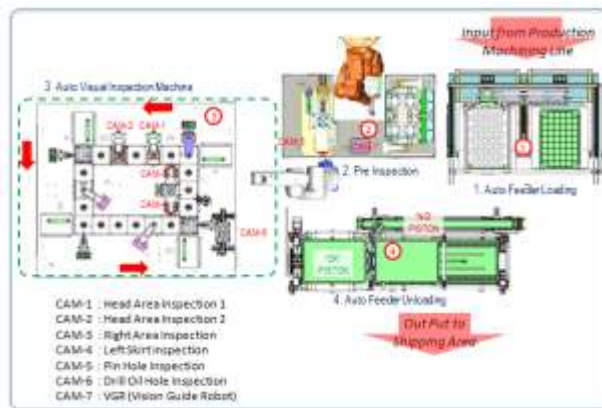
- ✓ Menangani piston dari keranjang input sampai dengan pre-inspeksi

C. Proses Inspeksi Visual Auto

- ✓ Inspeksi Area Kepala
- ✓ Inspeksi Area Sisi Kanan
- ✓ Inspeksi Area Sisi Kiri
- ✓ Inspeksi Area Lubang Oli

D. Fungsi Robot #2

- ✓ Menangani piston dari pre-inspeksi, auto inspeksi visual dan memisahkan serta menyusun piston OK dan NG



Gambar 33 Alur Proses Mesin Auto Inspeksi Visual

7 Ucapan Terima Kasih

- [1] Seluruh jajaran Manajemen dan Karyawan PT Astra Otoparts Tbk Divisi Winteq.
- [2] Seluruh jajaran Manajemen dan Karyawan PT Federal Izumi Manufacturing.
- [3] Seluruh tim yang terlibat dalam proyek ini, tim design dan tim assembly Mechanic, Elektrik & Robotik.

8 Daftar Pustaka

- [1] PT Federal Izumi Manufacturing, "Piston Knowledge 1" Bogor 2004.
- [2] Rosa dan Colligan, Ergonomi fisik, Fisiologi manusia kerja, 1997. (<http://ergonomi-fit.blogspot.co.id/2012/04/ritme-circadian-jam-biologis-manusia.html>)
- [3] Academia, "Lembar Praktiku", http://www.academia.edu/8425595/LEMBAR_KERJA_PRAKTIKUM_DEFINISI_OTOMASI_Otomasi_Industri, (diakses pada 19 Oktober 2015)
- [4] Vision System, "Cameras", <http://www.vision-systems.com/cameras.htm>, (diakses pada 19 Oktober 2015)
- [5] Kamera Digital, "Penertian Kamera dan Sejarahnya", <http://daftarkameradigitalberkualitas.blogspot.co.id/2013/02/pengertian-kamera-dan-sejarahnya.html>, (diakses pada 19 Oktober 2015)
- [6] ABB, (2013).Operation Manual - Instruction to RAPID,[pdf].Sweden.ABB.

Perancangan dan Implementasi High Availability Cluster Web Server Berbasis DBRD dan Heartbeat

¹Mohammad Iwan Wahyuddin*), ²Andrianingsih, ³Muhammad Jejen

¹FTKI, Universitas Nasional

²FTKI, Universitas Nasional

iwan_wyd@yahoo.com)*

Abstrak

Sebuah perusahaan sering kali mempromosikan dan bahkan menjual produk- produknya melalui website dengan memanfaatkan internet dengan tujuan memperbesar pangsa pasarnya. Website memerlukan server berkualitas agar dapat berjalan dengan baik, jika server dari website mengalami kegagalan seperti kerusakan pada harddisk atau yang lainnya, situs pada server tersebut pasti tidak akan dapat di akses oleh konsumen yang ingin mendapatkan informasi yang disediakan. Untuk menghadapi masalah tersebut, dibuatlah suatu usulan untuk membangun suatu sistem yang dapat menjamin ketersediaan informasi pada server web dengan menggunakan teknologi cluster. Cluster mempunyai berbagai metode salah satunya High Availability Cluster yaitu cluster yang di implementasikan dengan tujuan utama untuk meningkatkan Availabilitas layanan yang disediakan cluster. Penulis akan membuat virtualisasi web server di linux Ubuntu yang di dalamnya terdapat DRBD dan Heartbeat dengan menggunakan sistem operasi Proxmox VE. DRBD merupakan suatu aplikasi replikasi storage block device antar 2 buah server, yang memungkinkan melakukan sinkronisasi 2 server dengan metode Uptime, Synchronous dan Asynchronous. Sedangkan Heartbeat adalah sebuah aplikasi yang dapat mendeteksi apabila server utama down maka Heartbeat akan secara otomatis mengarahkan peran server utama kepada server backup. Dengan adanya DRBD sebagai backup data dan Heartbeat sebagai pengecek kegagalan fungsi server membuat data menjadi aman.

Kata Kunci: *High Availability Cluster, DRBD, Heartbeat, Virtualisasi*

1 Pendahuluan

Pemanfaatan teknologi *high availability cluster* ini dirancang untuk menunjang layanan infrastruktur web server. Web server merupakan *software* yang memberikan layanan data yang berfungsi menerima permintaan *HTTP* atau *HTTPS* dari klien atau *browser web* dan mengirimkan kembali hasilnya dalam bentuk halaman-halaman web yang umumnya berbentuk dokumen *HTML*. Pada penelitian ini akan dirancang virtualisasi web server di linux Ubuntu dengan menggunakan sistem operasi *Proxmox VE*. Sistem operasi *Proxmox VE* merupakan distribusi berbasis *debian* yang mempunyai model penyimpanan sangat fleksibel

dan tidak ada batasan untuk melakukan instalasi sistem operasi dan juga dapat mengkonfigurasi banyak definisi penyimpanan yang diinginkan oleh admin. Beberapa kelebihan dari sistem server yang bersifat *virtual server* yaitu sistem tidak terlalu berlebihan dalam menggunakan *source CPU-usage* dan kemudahan dalam melakukan *Backup dan Recovery*.

High Availability cluster atau sering disebut sebagai *Failover Cluster System*, pada umumnya diimplementasikan untuk tujuan meningkatkan ketersediaan layanan yang diberikan oleh *cluster*. *Cluster* merupakan kolaborasi beberapa komputer independen yang digabungkan menjadi satu sistem dengan menggunakan jaringan dan *software*. Dalam pengertian mendasar, sistem cluster diartikan dengan dua atau lebih komputer yang digunakan untuk menyelesaikan satu masalah secara bersama-sama. Elemen *cluster* akan bekerja dengan memiliki node redundan, yang kemudian digunakan untuk menyediakan layanan saat salah satu elemen *cluster* mengalami kegagalan. Ukuran yang paling umum dari kategori ini adalah dua node, yang merupakan syarat minimum untuk melakukan redundansi. Dimana implementasi *cluster* jenis ini nantinya akan diaplikasikan dengan menggunakan redundansi komponen *cluster* untuk menghilangkan kegagalan di suatu titik menggunakan Linux Ubuntu server yang didalamnya terdapat *Heartbeat* dan *DRBD* (*Distributed Replicated Block Device*) untuk meningkatkan ketersediaan layanan yang disediakan oleh web server.

1.1 Permasalahan

Database storage pada sebuah server tunggal masih rentan terhadap kerusakan yang mengakibatkan kehilangan data, untuk mengatasinya perlu dibuat suatu sistem agar kehilangan data akibat adanya kegagalan sistem server dapat dihindari. Dengan menggunakan beberapa server sebagai backup, secara ideal hal ini memerlukan penggunaan *resource hardware* yang cukup besar dalam perancangan sistem *high availability* pada server fisik. Untuk itu, maka pada penelitian ini dibuat beberapa server virtual

dan akan dianalisis sejauh mana respon server backup dalam menangani masalah yang terjadi pada server utama (primer). Baik pada keadaan normal saat proses maintenance atau update perangkat, maupun saat terjadi gangguan dari luar sistem.

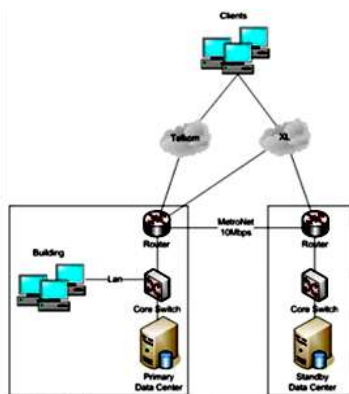
1.2 Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk memanfaatkan package DRDB Linux untuk memudahkan backup data server, sehingga dapat dibangun web server yang memiliki ketersediaan layanan tinggi (*High availability*) yang bertujuan agar user dapat mengakses web server tanpa adanya masalah.

Disisi lain, ke-2 unit web server tersebut selalu sinkron satu sama lain, ketika server-1 update, maka server-2 akan update secara otomatis. Sehingga terdapat content data yang selalu melakukan sinkronisasi pada masing-masing server. Untuk keperluan ini maka perlu dibuat mekanisme redundansi data untuk menguji sinkronisasi kedua server. Perancangan sistem *Heartbeat* sebagai *failover* dapat mengatasi adanya kegagalan pada fungsi server, yaitu dengan cara menggantikan server-1 jika tiba-tiba mati atau *down*, sehingga secara otomatis server-2 akan menggantikan fungsi server-1 agar sistem tetap berjalan.

2 Tinjauan Pustaka

Solusi high availability dapat meminimalkan dampak gangguan terhadap proses bisnis pada suatu perusahaan yang merupakan dampak dari gangguan database server dan storage server [2].



Gambar 1. Arsitektur logikal disaster recovery center (DRC)

Gambar 1. Adalah sebuah contoh yang memperlihatkan bagaimana kantor-kantor cabang terhubung dengan data center utama melalui

jaringan WAN yang disediakan oleh dua provider telekomunikasi. Dalam keadaan normal, dua jaringan ini berperan sebagai load balancer dan apabila terjadi gangguan pada salah satu jaringan, maka seluruh arus informasi dan komunikasi akan ditangani oleh jaringan yang tidak bermasalah. Data yang berasal dari cloud provider diteruskan masuk ke router pada data center utama, dan jaringan yang masuk ke router DRC. Sinkronisasi database antara data center utama dan DRC dilakukan melalui koneksi antar router. Apabila sewaktu-waktu terjadi gangguan pada data center utama, yang mengakibatkan kantor cabang tidak dapat mengakses data center utama, maka jaringan standby dari cloud provider ke DRC akan diaktifkan dan Data Guard akan mengubah peran standby database pada DRC menjadi primary database. Selanjutnya koneksi dari kantor cabang ke data center utama akan dialihkan menuju DRC.

Penelitian High Availability Cluster yang dilakukan oleh Muhammad Taufik Saenal [3], menggunakan komponen dalam sistem terhubung melalui jaringan dimana ada dua buah server yang menyediakan service untuk client. Kedua server saling terhubung melalui dua buah jaringan. Salah satu jaringan merupakan jaringan publik yang menghubungkan kedua server dengan client, sedangkan jaringan lainnya merupakan jaringan private yang menghubungkan server secara langsung untuk duplikasi data antar kedua server. Aktif server adalah server utama yang melayani service untuk client dan pasif server adalah backup dari aktif server. Kedua server di atas adalah satu kesatuan sistem yang melayani permintaan service dari client, dimana jika terjadi kesalahan pada aktif server maka pasif server akan mengambil alih peran dari aktif server.

Penggunaan Distributed Replicated Database System (DRBD) pada High Data Availability menunjukkan suatu program replikasi secara otomatis dan multi database. Replikasi akan dilakukan, dan akan ditampilkan pada interface server yang memperlihatkan data setiap saat perubahan-perubahan yang terjadi pada database di server utama (primer) dan server backup. Replikasi database adalah membuat cadangan database pada server lainnya yang dikonfigurasi sebagai server cadangan [4].

Server-server fisik tentunya memiliki banyak kekurangan khususnya dalam masalah single point of failure, ketika suatu layanan mati dan tidak memperhitungkan kesalahan yang berhubungan dengan redundansi. Proses Replikasi antar server dilakukan dengan cara mereplikasi database pada masing-masing server. Terdapat database master dan database slave yang memiliki fungsi yang sama yaitu untuk

penyimpanan database dari suatu sistem. kedua server itu dihubungkan dengan tujuan agar bisa terjadi replikasi data antara kedua server. Agar perancangan itu bisa dilakukan dengan baik digunakan teknologi MySQL Cluster. Pada tahapan pembuatan sistem cluster dibagi tiga bagian utama yaitu server master, server slave, dan manajemen server. Antara node A yang berfungsi sebagai server master dan node B sebagai server slave saling terhubung dengan suatu management node (MGM Node). Heartbeat bekerja untuk jaringan yang akan mengkomunikasikan status server (node) setiap waktu. Ketika suatu node mengalami gangguan sistem database, proses migrasi mesin virtual akan dilakukan ke node lainnya. Ketika node yang mengalami gangguan tersebut sudah diperbaiki dan kembali hidup proses migrasi kembali dilakukan untuk mengembalikan mesin virtual yang telah dimigrasikan ke node asalnya [5].

Jadi fungsi utama dari MGM Node adalah menghubungkan antara kedua node tersebut sehingga fungsi dari MySQL cluster itu sendiri dapat berjalan. Di samping fungsi lainnya yang telah disebutkan seperti replikasi data, dan high availability.

3 Perancangan Sistem

Implementasi pada perancangan sistem ini menggunakan server untuk keperluan virtualisasi, adapun perangkat keras yang dibutuhkan sebagai berikut:

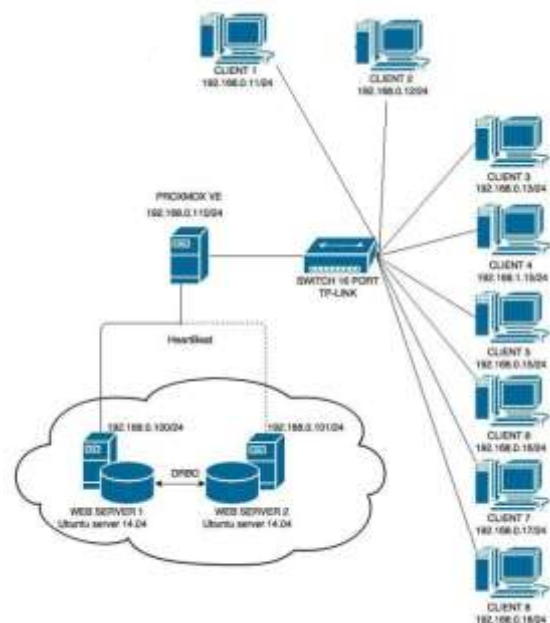
- Komputer server:
 - Processor Intel Core i3 2320 TM 3,3 MHz
 - Memory DDR3 4 GB
 - Hardisk 250 GB
- Komputer Client minimal Pentium IV dengan dilengkapi browser web.
- Switch 16 Port
- Kabel Jaringan (UTP)

Perangkat lunak yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- Proxmox VE yang digunakan untuk membuat Virtualisasi OS Server sebagai konfigurasi High Availability cluster.
- Ubuntu Server 14.04 sebagai OS dalam virtualisasi server.
- MySQL Sebagai database web server.
- Apache Sebagai Web Server.
- PHP5 Sebagai bahasa pemrograman web
- Heartbeat software untuk melakukan HA Cluster.
- DRBD Software untuk sinkronisasi data pada kedua server berbasis web.

3.1 Topologi Jaringan

Topologi jaringan yang digunakan pada perancangan *High Availability Web server* ini menggunakan topologi star. Topologi star adalah bentuk topologi jaringan yang berupa konvergensi dari node tengah ke setiap node atau pengguna. Beberapa kelebihan yang dimiliki topologi star diantaranya adalah meminimalisir kerusakan pada satu saluran dan hanya akan mempengaruhi jaringan pada saluran tersebut dari stasiun yang terputus. Tingkat keamanan termasuk tinggi dan tahan terhadap lalu lintas jaringan yang sibuk. Di samping itu penambahan dan pengurangan stasiun dapat dilakukan dengan mudah karena mempunyai akses kontrol terpusat. Kelebihan lainnya yaitu kemudahan deteksi dan isolasi dalam hal pengelolaan jaringan termasuk jika terjadi kerusakan pada jaringan. Namun di samping kelebihan yang dimiliki, terdapat juga kelemahan seperti jika node tengah mengalami kerusakan, maka seluruh rangkaian akan berhenti, boros dalam pemakaian kabel, HUB/SWITCH jadi elemen kritis karena kontrol terpusat dan peran hub sangat sensitif sehingga ketika terdapat masalah dengan hub maka jaringan tersebut akan down biaya jaringan lebih mahal dari pada Bus atau Ring



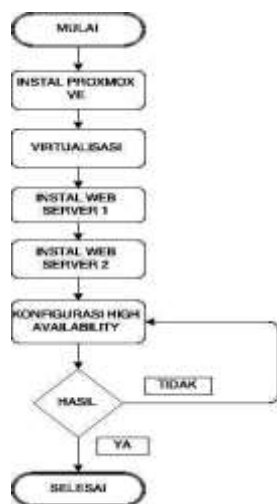
Gambar 2. Topologi Jaringan

Pada gambar 2 menjelaskan topologi jaringan High Availability pada web server pada jaringan local area network (LAN). Dari topologi tersebut terdapat komputer server yang terinstal Proxmox VE dengan IP 192.168.0.110 yang didalamnya terdapat 2 server atau 2 node virtual yang berfungsi sebagai web server. Node1 sebagai Master atau Primary

dengan alamat IP 192.168.0.101 dan node2 sebagai Slave atau Secondary dengan alamat IP 192.168.0.102. Kedua node tersebut saling berhubungan dan saling sinkron satu sama lain oleh DRBD didalam cluster. Fungsi dibuatnya 2 node pada jaringan diatas adalah ketika node1 mengalami kegagalan fungsi server maka secara otomatis node2 menggantikan fungsi dari node1. Heartbeat akan senantiasa mengecek setiap saat jika sebuah node mengalami kegagalan fungsi server.

Diagram alir dari perancangan sistem diperlihatkan pada gambar 3. Adapun langkah-langkahnya dijelaskan sebagai berikut:

1. Pada proses pertama, install OS PROXMOX VE untuk menginstal virtualisasi Web server 1 dan Web server 2.
2. Berikutnya proses Instalasi Web server 1 dan Web server 2 menggunakan Virtualisasi Proxmox VE hypervisor.
3. Selanjutnya konfigurasi High Availability atau Failover Cluster untuk menggabungkan Web server 1 dan Web server 2 kedalam cluster.
4. Melakukan instalasi dan konfigurasi Heartbeat dan DRBD pada Web server 1 dan web server 2.
5. Konfigurasi High Availability pada kedua Web server.



Gambar 3. Flowchart perancangan sistem

3.2 Instalasi PROXMOX VE

Proxmox merupakan operating sistem yang berfungsi sebagai hypervisor dan dapat didownload secara gratis pada situsnya di alamat <http://www.proxmox.com/downloads/proxmox>

dalam bentuk format .ISO kemudian dari file tersebut burning ke dalam CD menggunakan CD burner, seperti Nero, dll

Proses instalasi Proxmox tidak berbeda dengan cara instalasi pada distribusi linux pada umumnya, hanya saja, pada Proxmox diperlukan mesin 64 bit dengan dukungan virtualisasi. Untuk storage diperlukan hardisk yang partisinya dipergunakan secara utuh karena pada saat instalasi, secara otomatis seluruh isi harddisk akan terhapus. Gambar 4 dibawah adalah tampilan saat pertama kali instalasi Proxmox.



Gambar 4. Tampilan awal instalasi Proxmox

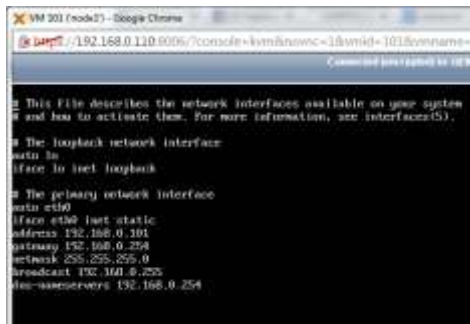
3.3 Instalasi Heartbeat

Setelah menginstall 2 buah virtual machine linux Ubuntu server 14.04 pada Proxmox VE. Tahap selanjutnya adalah menginstall heartbeat untuk komponen pendukung dalam membangun High Availability, yang berfungsi sebagai failover. Langkah pertama yang dilakukan adalah update dan upgrade package sources pendukung untuk mempermudah proses penginstalan. Dengan perintah sebagai berikut:

```
#sudo apt-get update
```

```
#sudo apt-get upgrade
```

Tahap berikutnya adalah setting network di masing-masing server node1 dan node2. Setel IP node1 dengan IP 192.168.0.100 dan IP node2 dengan IP 192.168.0.101 seperti pada gambar 5 di bawah.



Gambar 5. Setting network node server

Tahap selanjutnya install aplikasi Heartbeat pada masing – masing server, dengan perintah:

```
#Sudo-apt install heartbeat
```

3.4 Konfigurasi Heartbeat

Setelah install *heartbeat* tahap selanjutnya adalah tahap konfigurasi heartbeat pada ke dua server node1 dan node 2 sebagai berikut :

- Membuat berkas baru yaitu *ha.cf* dengan perintah:

```
#Nano/etc/ha.d/ha.cf
```

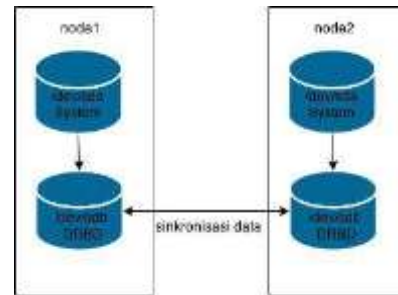
- Kemudian isi berkas di atas dengan script di bawah ini agar Heartbeat mengenali kedua node server tersebut:

```
Keepalive 2
Warntime 5
Deadtime 15
Initdead 90
Uddmnr
```

Setelah itu dibuat berkas untuk IP virtual pada Heartbeat di dalam folder */etc/ha.d/haresources*. Heartbeat nantinya akan memberikan IP virtual tersebut pada server node1 dan node2, dan client hanya akan dilayani oleh IP virtual tersebut. Heartbeat selalu mengecek antara dua server, bila salah satu down maka IP virtual akan pindah ke server yang aktif.

3.5 Instalasi DRBD (Distributed Replicated Block Device)

Proses instalasi DRBD (Distributed Replicated Block Device) diperlukan penambahan hardisk virtual Proxmox VE pada server node1 dan node2 dengan ukuran yang sama. Hardisk ini akan di gunakan sebagai hardisk *cluster* DRBD.



Gambar 6. Harddisk pada DRBD

Terlihat di gambar 6, di mana terdapat dua buah hardisk pada setiap node yang terdiri dari */dev/sda* sebagai file system dari Ubuntu server 14.04 dan */dev/sdb* sebagai cluster DRBD. Kemudian Install paket DRBD pada masing-masing server node1 dan node2 dengan perintah :

```
#apt-get install drbd82-utils
drbdlinks\
```

Perintah di atas akan menginstal paket DBRD 8 dari repository server linux Ubuntu. Karena semua proses dilakukan secara online, maka pada saat instalasi server harus terhubung ke jaringan Internet.

3.6 Konfigurasi DRBD (Distributed Replicated Block Device)

Selanjutnya dilakukan proses konfigurasi server dengan pengeditan pada file *drbd.conf*. Konfigurasi ini dimaksudkan untuk membuat sinkronisasi antar server. Kemudian tentukan server node1 menjadi primer dan server node2 sebagai secondary atau backup untuk perangkat yang akan memuat file konfigurasi paket LAMP dan dilakukan sinkronisasi penuh untuk pertama kali antara kedua server. Jika proses sinkronisasi telah selesai, kita perlu memformat drive drbd dan mounting ke salah satu direktori yang dilakukan di server primer.

```
#[node1] mkfs.ext4 /dev/drbd0
#[node1] mount /dev/drbd0 /srv/data
```

3.7 Instalasi LAMP (Linux, Apache, Mysql, Php)

Paket instalasi LAMP (Linux, Apache, Mysql, PHP) merupakan komponen penting pendukung untuk membuat Web server. Tujuannya adalah memiliki service heartbeat yang mengatur service dari paket rangkaian LAMP dan mencegah rangkaian LAMP ini dari aturan normal yang diatur dalam init. Selama proses penginstalan lakukan pengisian user dan password untuk mengakses database MySQL.

Setelah instalasi LAMP server selesai, lakukan pemindahan semua direktori tempat database dan web servernya ke DRBD storage, hal ini dibutuhkan agar web server dapat saling sinkron dari server node1 dan server node2 tapi sebelumnya hentikan terlebih dahulu service-nya. Lakukan pada server primary atau node1 terlebih dahulu baru node 2 setelahnya. Lakukan penghapusan LAMP dari script init dan pindahkan kembali semua paket LAMP ke direktori /srv/data yang berada pada storage DRBD. Hal yang sama dilakukan untuk server node2. Dengan melepas mounting /dev/drbd0 dari /srv/data, membuat kedua node sebagai secondary DRBD. Jalankan kembali Heartbeat. Lakukan restart atau reboot untuk kedua server yang telah dikonfigurasi tersebut.

4 Pengujian sistem

Pengujian sistem pada perancangan High Availability web server ini akan dilaksanakan dalam beberapa tahap pengujian sebagai berikut:

4.1 Pengujian Sinkronisasi Data

Sebelum pengujian sinkronisasi dilakukan terlebih dahulu dicek kecepatan menulis dan membaca pada harddisk / penyimpanan, dan diperoleh bahwa kecepatan membaca memory 4,398.42 MB/s, sementara Kecepatan rata - rata membaca harddisk 210.51 Mb/s. yang menggambarkan bahwa kecepatan membaca pada memori sekitar 20x lebih tinggi daripada kecepatan membaca harddisk.

Pada pengujian sinkronisasi data yang telah diuji sebesar 100MB, 500MB dan 1GB didapatkan hasil sebagai berikut:

Table 4.2 Sinkronisasi data sebesar 100MB

No	Data	Kecepatan sinkronisasi (Mb/s)
1	100MB	64.10
2	100MB	51.29
3	100MB	53.48
4	100MB	64.10
5	100MB	42.47
6	100MB	45.25
7	100MB	56.18
8	100MB	46.51
9	100MB	37.41
10	100MB	46.37

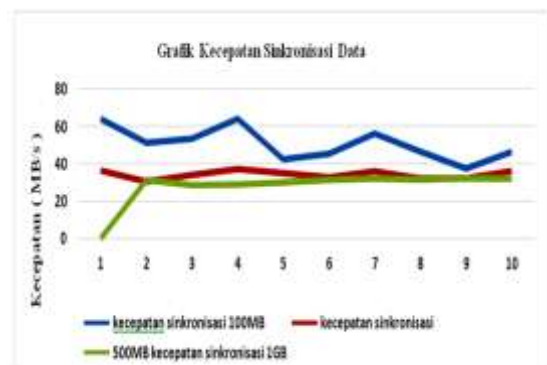
Table 4.3 Sinkronisasi data sebesar 500MB

No	Data	Kecepatan sinkronisasi (Mb/s)
1	500MB	36.3
2	500MB	30.4
3	500MB	34.0
4	500MB	37.2
5	500MB	35.0
6	500MB	32.8
7	500MB	36.0
8	500MB	32.1
9	500MB	32.2
10	500MB	36.1

Table 4.4 Sinkronisasi data sebesar 1GB

No	Data	Kecepatan sinkronisasi (Mb/s)
1	1GB	32.4
2	1GB	31.3
3	1GB	28.7
4	1GB	28.9
5	1GB	30.0
6	1GB	31.4
7	1GB	32.1
8	1GB	31.5
9	1GB	32.2
10	1GB	31.9

Dari data di atas kita dapat menganalisa situasi yang terjadi pada *storage cluster*. Semakin besar data yang dirubah semakin lama waktu *sinkronisasi*. Pada proses penyalinan data dengan metode sederhana, dengan menyalin file yang besar secara langsung akan berdampak pemakaian memori yang besar. Dibandingkan dengan perubahan yang kecil kemudian dibackup akan mendapatkan hasil lebih cepat.



Gambar 7. Grafik kecepatan data sinkronisasi

Pada gambar 7. dapat dilihat waktu kecepatan sinkronisasi data kedua server bergantung dengan ukuran data yang diubah pada server utama, semakin kecil data akan semakin cepat selesai melakukan sinkronisasi, begitupun sebaliknya.

4.2 Pengujian Failover dan Failback

Pengujian ini dilakukan dengan percobaan *failover* dan *failback* menggunakan *Heartbeat* yang menghasilkan IP address virtual yang melayani *service* pada server yang di *cluster*.

Pengujian *Failover* terjadi jika pada salah satu *server failure*. *Heartbeat* akan memberikan IP virtual pada server node1 dan node2. Yang akan diakses oleh client. *Heartbeat* mempunyai peran penting dalam *failover*. Karena *Heartbeat* selalu mengecek antara dua server bila salah satu down.



Gambar 8. *Failover* pada node1 dan node2

Gambar 8. Di atas memperlihatkan bagaimana proses fail over ini dilakukan. Dari hasil pengujian didapatkan perpindahan server yang dilakukan oleh heartbeat memakan waktu rata-rata selama 3 detik. Pada pengujian *failback* atau proses pengembalian fungsi server *primary* (node1) dari server *secondary* (node2) meliputi perubahan yang terjadi pada server node2 selama menggantikan fungsi dari server node1. Layanan yang diberikan aplikasi *Heartbeat* memudahkan proses *failback* agar data selalu sinkron satu sama lain. Proses *failback* berjalan dengan memindahkan pelayanan *service* dari node2 ke server node1. Proses ini sesuai konfigurasi *Heartbeat* yaitu 5 detik. Pada peristiwa *failback* system akan bekerja seperti semula. Dan node yang dijadikan node *primary* yaitu node1 akan kembali pulih menjadi node *primary* dan mensinkronkan data dengan node *secondary* yaitu node2.

5 Kesimpulan

1. Dengan adanya DRBD sebagai backup data dan *Heartbeat* sebagai pengecek

kegagalan fungsi server membuat data menjadi aman.

2. Dengan memanfaatkan teknologi cluster ketersediaan informasi pada pada web server dapat terjamin.
3. Agar data antar server di dalam cluster tetap sinkron harus digunakan redundansi data yang realtime pada kedua server.
4. Server node2 hanya akan bekerja jika server utama node1 mengalami kegagalan
5. Client tidak akan mengalami gangguan jika ada server yang sedang tidak berfungsi

6 Daftar Pustaka

- [1] Adityo Prabowo, Kodrat Iman Satoto, Maman Soemantri, 2012. "Perancangan MySQL Cluster Untuk Mengatasi Kegagalan Sistem Basis Data Pada Sisi Server", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [2] Indrajani, Johan, 2010. "Analisis Dan Perancangan Sistem High Availability Pada PT. A", Bina Nusantara University, Jakarta.
- [3] Muhammad Taufik Saenal, Solikin, Setia Juli Irzal Ismail, 2013. "Membangun High Availability Cluster pada Web Server Dengan Sistem Operasi Linux Ubuntu Server Menggunakan Heartbeat", Departemen Teknik Komputer Politeknik Telkom, Bandung.
- [4] Muhammad Rais, Muhammad Tola, Armin Lawi, 2013. "High Data Availability System Dengan Distributed Replicated Database System", Fakultas Teknik Informatika Program Studi, Teknik Informatika Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Handayani, Makassar.
- [5] William, 2010. "Perancangan dan Implementasi Sistem High Availability dengan Virtualisasi", Program Studi Teknik Elektro Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung.
- [6] Nugroho, Prasetyo. "Analisis Pemenuhan Carrier Grade Linux Standard 4.0 Aspek Cluster Pada Fedora 7". Proyek Akhir, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
- [7] Periyadi, dkk. "Sistem Tersebar" Bandung: Politeknik Telkom, 2009.
- [8] Rivai, Muhammad (2010). "Panduan Linux HA & Failover pada openSUSE/SLES".
- [9] Tersedia: <http://www.vavai.com/wp-content/uploads/panduan-high-availability-server-menggunakan-opensuse-sles.pdf> [mei. 20, 2015].

Operasi Valas: Identifikasi Nominal Dengan Metode *Canny Edge Detection* dan *Template Matching*

Foreign Exchange : Nominal Identification Using Canny Edge Detection and Template Matching

Bagus Budi Laksono¹, Angga Rusdinar, Ph.D², & Suci Aulia, S.T, M.T³

Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Telkom

bagus.budi194@gmail.com¹, anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id², suciulia@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Proses penukaran uang dewasa ini masih menggunakan campur tangan manusia sehingga membutuhkan waktu dan juga perlu adanya interaksi antara pembeli dan penjual (face to face) serta dibutuhkan ketelitian yang dapat berbeda antar individu. Oleh karena itu, dibutuhkan alat yang aplikatif dalam hal transaksi penukaran uang.

Pada penelitian ini dirancang sebuah alat yang mampu mendeteksi nilai nominal input, dengan input berupa mata uang US Dollar dengan pecahan 1, 2, 5 10. Metode pengenalan keaslian mata uang input dan nominalnya menggunakan metode canny edge detection sebagai operator ekstraksi ciri kemudian digunakan metode template matching yang penggunaannya relatif mudah dipahami. Setelah nominal input dan keaslian diketahui selanjutnya dikali dengan nilai kurs valuta asing yang sebelumnya disimpan dalam bentuk .csv. Alat ini memiliki kesensitifan perbandingan antar template sebesar 95.625% yang didapat melalui nilai rata-rata deteksi 1 USD 100%, 2 USD 100%, 5 USD 100%, serta 10 USD 82.5%.

Kata Kunci: *transaksi penukaran uang, canny edge detection, template matching*

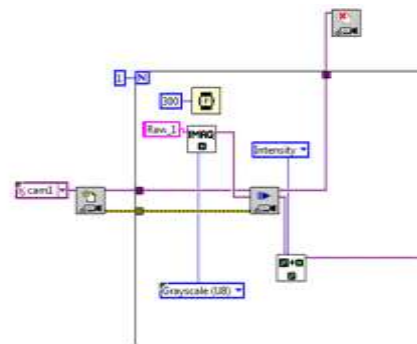
1 Pendahuluan

Pada era modernisasi ini banyak hal dilakukan secara cepat dan praktis. Namun tidak demikian dengan proses penukaran valuta asing, selama ini kegiatan penukaran uang dilakukan secara manual dan terkendala oleh prosedur yang memakan waktu yang lama. Oleh karena itu, penulis berkeinginan untuk membuat sebuah alat yang mampu melakukan penukaran mata uang asing dengan nilai konversi yang sama. Proses penukaran uang pada umumnya adalah proses identifikasi keabsahan serta nominal mata uang asing, operasi pengali kurs, dan penentuan nilai mata uang rupiah yang dibutuhkan sebagai luaran yang diinginkan. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian kali ini adalah LabVIEW yang di dalamnya terdapat toolkit Image Acquisition, Vision Development Module, serta MathScript RT Module.

2 Diskusi

2.1 Software LabVIEW

LabVIEW merupakan software multi-fungsi yang dapat melakukan pemrosesan sinyal maupun pemrosesan citra. Bahasa yang digunakan pada dasarnya adalah bahasa C yang kemudian diterjemahkan menjadi bahasa G-Code (Graphical Code).



Gambar 1 contoh pemrograman G-Code pada LabVIEW

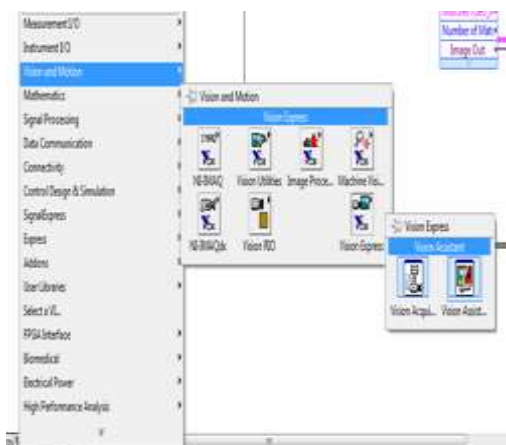
2.2 Vision Acquisition Software (VAS)

Vision Acquisition Software merupakan toolkit tambahan pada LabVIEW yang mengatur pengambilan gambar serta operasi sederhana pada citra yang ditangkap oleh kamera. Salah satu toolkit yang digunakan adalah NI-IMAQdx yang berfungsi sebagai driver kamera input yang telah disediakan, dan secara otomatis akan dideteksi pada jendela NI-MAX.

NI-MAX merupakan sebuah software yang di dalamnya terdapat daftar hardware yang telah terhubung pada perangkat komputer pengguna, serta mengetahui toolkit yang telah diinstall yang berhubungan dengan interfacing perangkat keras.

2.3 Vision Development Module (VDM)

Selain vision assistant, user juga dapat membuat sitem image processing secara terpisah dari sistem vision assistant. Hal ini memungkinkan untuk memperluas pengetahuan mengenai image processing.

[illegible]

2.4 Grayscale

Untuk mendapatkan citra grayscale dapat dilakukan konversi dengan menggunakan formula sebagai berikut:

(2)

(3)

Gambar 5 hasil penggunaan 3 rumus grayscale

2.5 Sharpening dan Smoothing

Sharpening merupakan penajaman gambar yang di dalamnya diberikan filter high pass yang kemudian dikonvolusi dengan citra asli agar didapat citra baru yang memiliki ketajaman lebih baik dibandingkan dengan citra asli. Operasi smoothing mampu melakukan penajaman edge pada citra yang membuat bagian pada edge citra menjadi lebih tegas.

2.6 Canny Edge Detection

Metode canny edge detection merupakan metode deteksi tepi yang sering digunakan dalam pelacakan tepi. Pertama kali dikenalkan oleh John Canny pada tahun 1986 yang menetapkan kriteria untuk edge detection yang metode penguraianya optimal. Dalam penelitian kali ini digunakan operator canny karena hasil akhir dari operator ini adalah image bi-level yang sesuai dengan keinginan penulis.

Secara umum algoritma dari operator ini adalah gaussian filtering, edge detection operation, kemudian thresholding.

2.7 Template Matching

Template matching merupakan teknik pengenalan pola paling sederhana. Pola identifikasi dengan cara membandingkan citra input dengan daftar representasi pola yang telah disimplan dalam sebuah template (Pearson, 1991).

Proses matching memindahkan citra ke tempat yang memungkinkan di dalam citra sumber, lalu menghitung indeks yang menjadi indikasi kecocokan template pada posisi tersebut. Proses matching dilakukan secara pixel-by-pixel.

Pada LabVIEW terdapat 2 toolkit matching, yaitu Grayscale matching serta Geometric matching. Seperti namanya pada operasi grayscale matching citra sumber dan citra template merupakan citra grayscale. Sedangkan geometric matching memiliki input berupa informasi edge citra template yang kemudian dibandingkan dengan citra sumber.

Dalam penggunaannya penulis menggunakan keduanya sebagai pendeteksi keabsahan serta nominal mata uang input yang akan dideteksi.

2.8 Mata Uang Input

Dalam penelitian kali ini, digunakan uang input US Dollar (Dolar Amerika) dengan nominal 1, 2, 5, 10. US Dollar yang merupakan mata uang resmi Amerika Serikat dan digunakan secara luas di dunia internasional sebagai kurs cadangan devisa

di luar Amerika Serikat. Penerbitan uang US Dollar dikontrol oleh sistem perbankan federal reserve.

Berikut ini merupakan citra dari uang input yang dapat dideteksi oleh alat ini:



Gambar 6 US Dollar pecahan 1 US Dollar



Gambar 7 US Dollar pecahan 2 US Dollar



Gambar 8 US Dollar pecahan 5 US Dollar



Gambar 9 US Dollar pecahan 10 US Dollar

2.9 Operasi Penukaran Nilai Uang

Operasi penukaran uang dilakukan dengan cara melakukan pengalihan antara kurs beli yang berlaku terhadap nilai nominal absah yang dikenali. Secara umum kaidah penukaran uang menggunakan penyedia jasa sebagai objektif yang memberikan nilai kurs jual dan beli secara berkala tergantung nilai kurs yang berlaku secara global.

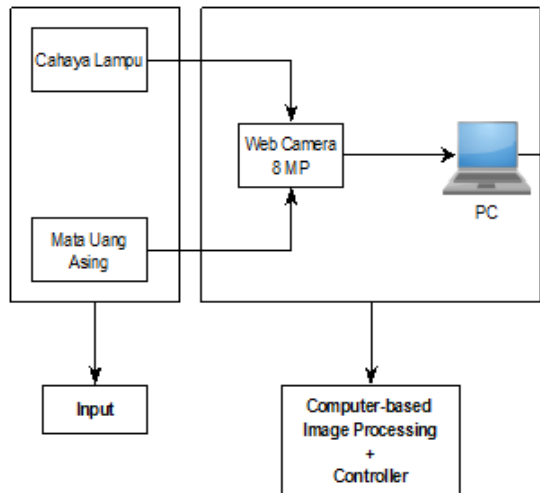
Penentuan penggunaan beli atau jual dilihat dari pihak penyedia jasa, artinya untuk setiap kurs beli penyedia jasa melakukan pembelian terhadap mata uang asing yang akan ditransaksikan,

sementara itu apabila kurs jual berarti penyedia jasa melakukan penjualan mata uang asing terhadap pengguna jasa.

(4)

2.10 Gambaran Umum Sistem

Secara umum, sistem identifikasi ini terdiri dari bagian sebagai berikut:



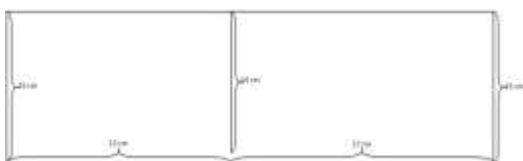
Gambar 10 gambaran umum sistem

Dari gambar diatas, sistem deteksi terdapat 2 bagian utama. Yaitu, input yang didalamnya terdapat mekanik cahaya lampu serta mata uang input yang kemudian akan diambil citranya menggunakan kamera web dengan resolusi 8MP. Setelah itu, dilakukan pengolahan citra pada PC dengan menggunakan software LabVIEW.

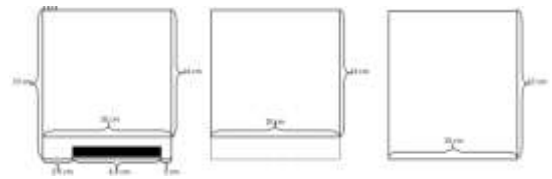
Berikut ini merupakan desain dari mekanik sistem:



Gambar 11 mekanik sistem tampak atas



Gambar 12 mekanik sistem tampak samping



Gambar 13 mekanik sistem tampak depan

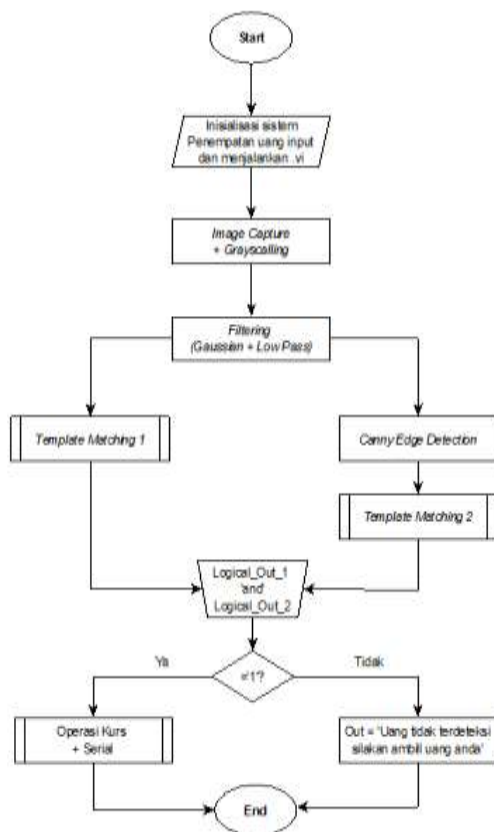


Gambar 14 mekanik sistem pada saat ditempatkan uang input

Pada bagian pengambil citra terdapat 4 buah LED sebagai sumber cahaya. Jarak antara mata kamera dengan uang input adalah 15 cm serta jarak antara mata uang input dengan ujung paling depan adalah 4 cm (penempatan uang berada pada 4 cm menjorok kebagian dalam, hal ini dimaksudkan agar bagian yang akan dilakukan template matching tersapu oleh kamera pada saat pengambilan citra).

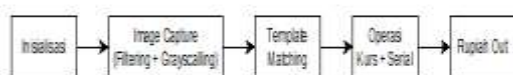
2.11 Flowchart dan Blok Diagram Sistem

Pada sub bab ini, penulis menjelaskan mengenai flowchart serta blok diagram sistem sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan. Berikut adalah flowchart sistem identifikasi dan serial out sebagai output lain sistem ini (apabila ingin dilakukan penambahan aktuator pada output):



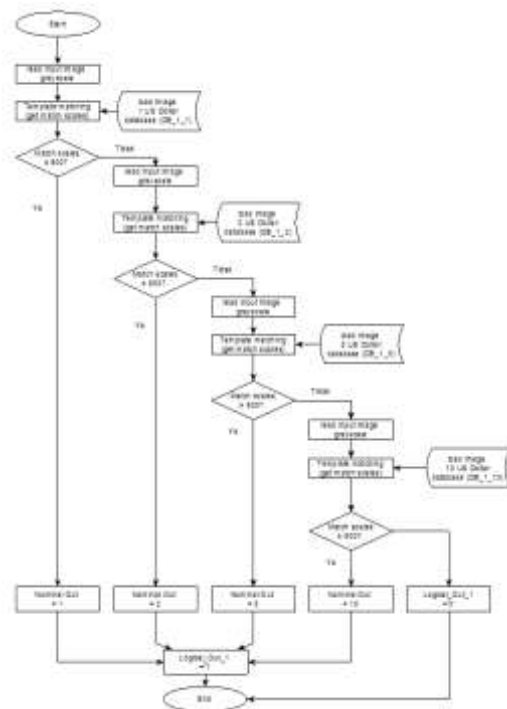
Gambar 15 flowchart sistem secara keseluruhan

Dalam diagram tersebut diatas, keseluruhan sistem dapat disimpulkan sebagai berikut:

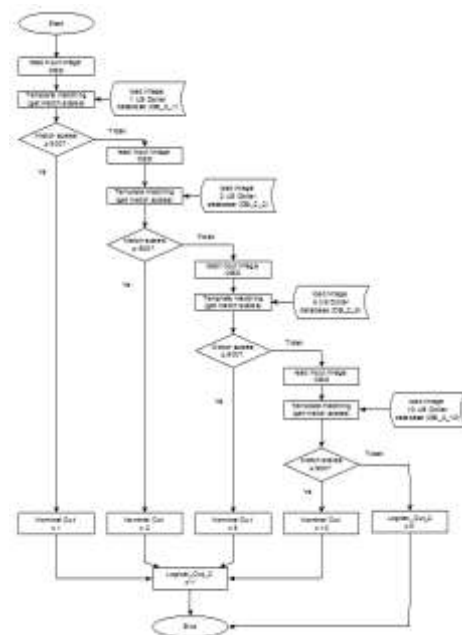


Gambar 16 gambaran umum sistem

Pada gambar 15 terdapat 2 buah operasi template matching, template matching 1 dan template matching 2. Di dalamnya terdapat algoritma sebagai berikut:

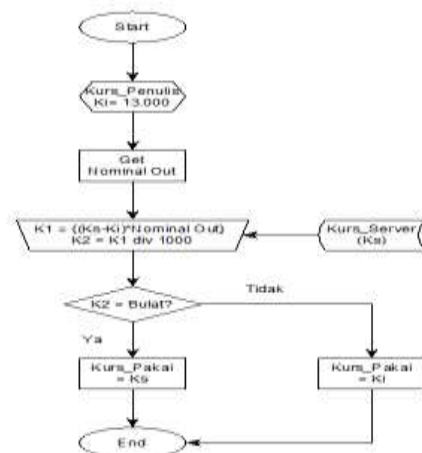


Gambar 17 flowchart template matching 1

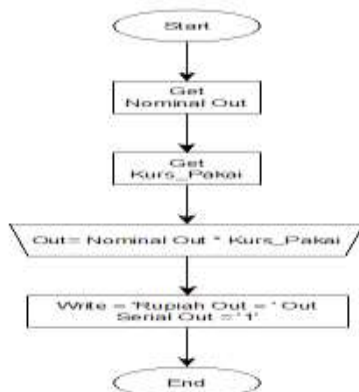


Gambar 18 flowchart template matching 2

Pada gambar 15 juga terdapat operasi kurs + serial, operasi ini dimaksudkan untuk melakukan pembulatan kurs untuk uang input yang mungkin memiliki nilai yang tidak dapat dibagi menggunakan uang 1000 rupiah selaku luaran paling kecil dari sistem identifikasi ini, dalam operasi kurs + serial terdapat algoritma sebagai berikut:



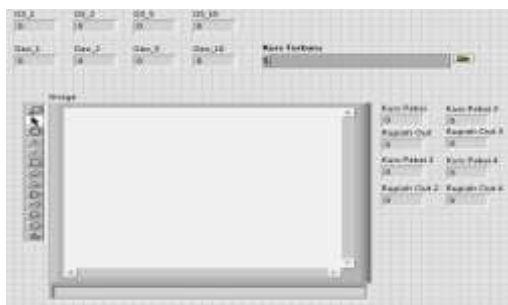
Gambar 19 flowchart sistem penentu kurs pengali



Gambar 20 flowchart sistem penentu luaran serta serial

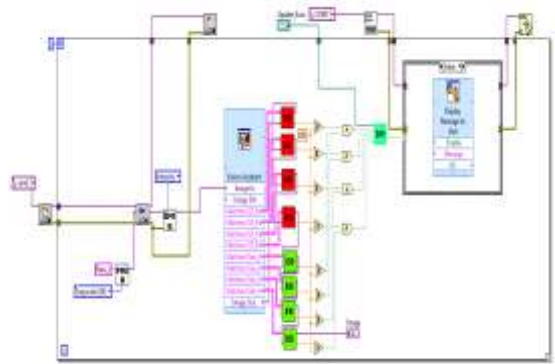
2.12 Implementasi pada LabVIEW

Pada bagian front panel LabVIEW terdapat HMI sebagai berikut (merupakan HMI Prototype yang ditujukan untuk melakukan pengujian):



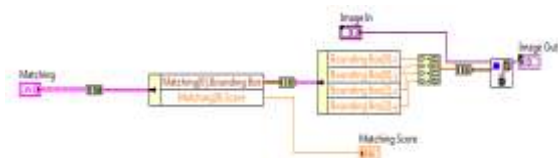
Gambar 21 front panel LabVIEW

Dengan graphical code pada bagian block diagram sebagai berikut:



Gambar 22 block diagram pada sistem identifikasi

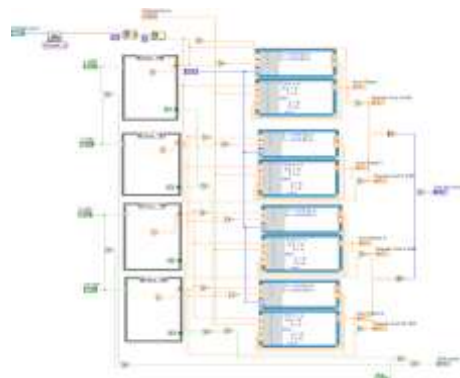
Dengan bagian block diagram pada BB (Bouding Box, dimaksudkan untuk melakukan Bouding pada nilai Matching >900) merah terdapat operasi sebagai berikut:



Gambar 23 block diagram pada bagian BB Merah

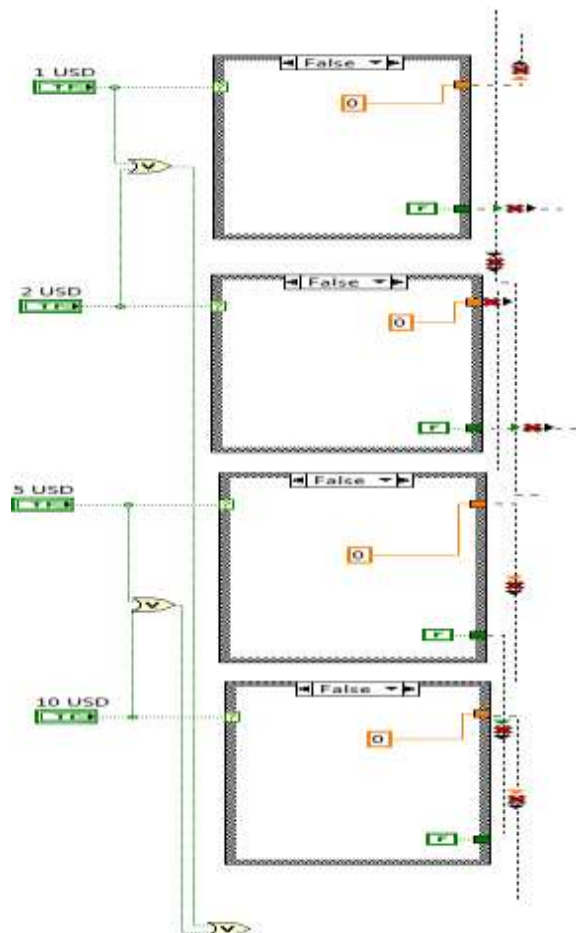
Pada gambar 23 nilai matching diekstraksi, kemudian diambil bounding box serta nilai matching dari template tertentu (terdapat satu operasi BB merah dan BB hijau untuk setiap nilai uang sehingga total operasi BB merah dan BB hijau adalah 8). BB hijau juga memiliki struktur block diagram yang sama, hanya saja input yang berbeda yaitu geometric matching sedangkan BB merah adalah grayscale matching.

Pada gambar 22 terdapat DM (decision maker, merupakan operator penentu kurs dan penentu luaran rupiah). Di dalamnya terdapat block diagram sebagai berikut:



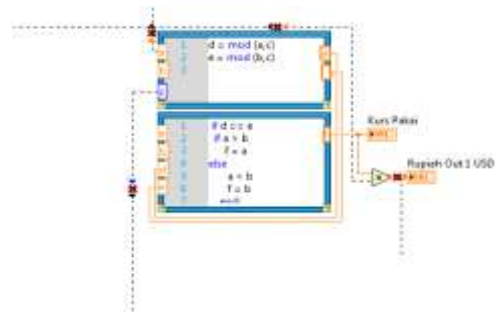
Gambar 24 block diagram pada bagian DM

Pada gambar 24 diatas, terdapat 3 buah operasi penting, yaitu melakukan penentuan logika boolean luaran dari sistem pengenalan uang, melakukan pemanggilan file database kurs, serta menentukan kurs yang akan digunakan sesuai dengan nominal yang dideteksi. Berikut merupakan bagian-bagian utama dari sistem DM ini:



Gambar 25 penentu nilai USD sesuai dengan hasil deteksi

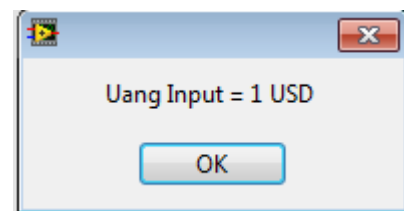
Pada gambar 25 block diagram tersebut dimaksudkan untuk mendeteksi nilai mata uang input apabila nilai grayscale matching dan geometric matching memiliki output yang sama (logika and). Selain operator tersebut, terdapat pula operator penentu kurs yang dapat diwakilkan oleh block diagram sebagai berikut:



Gambar 26 penentu nilai kurs serta rupiah out

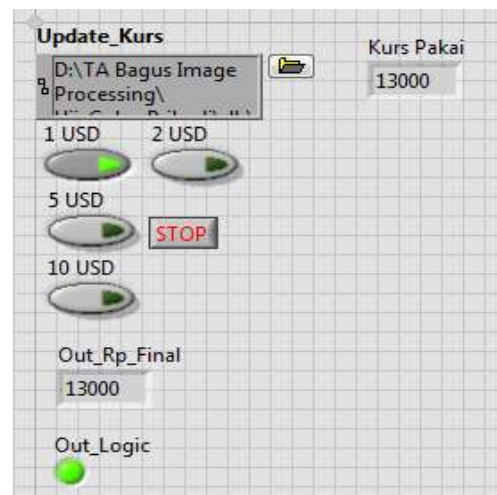
Pada gambar 26 terdapat operasi penentu nilai kurs yang akan digunakan serta nilai rupiah yang akan dikeluarkan oleh sistem.

Luaran sistem apabila terdapat nilai USD tertentu dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 27 luaran dari DM

Simulasi ketika luaran DM 1 USD dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 28 hasil front panel sistem ketika output DM = 1 USD

Keseluruhan sistem dinyatakan memenuhi keinginan ketika luaran dari grayscale matching dan geometric matching adalah sama. Oleh karena itu, pengujian atau analisa sistem ini difokuskan pada sistem image processing pada alat ini.

2.13 Skenario Pengujian

Pengujian sistem ini difokuskan pada pengujian keakurasian template matching yang digunakan pada penelitian kali ini, untuk mendapatkan persentase tertentu, pengujian dilakukan 10 kali dengan menggunakan uang asli sebagai input yang kemudian nilainya dibandingkan dengan masing-masing template baik menggunakan grayscale matching maupun geometric matching yang kemudian disajikan dalam bentuk tabel yang ditujukan sebagai indikasi kebenaran serta mengetahui luaran masing-masing mata uang input dan respon template lain terhadap input mata uang lainnya

2.14 Pengujian dan Analisa

Pengujian sistem dilakukan dengan meletakkan uang asli sesuai dengan instruksi (4 cm dari bagian terluar alat), didapat nilai sebagai berikut:

Tabel 1 hasil uji 1 US Dollar asli terhadap seluruh template

Uji ke-	Gray Scale Matching				Geometric Matching			
	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$
1	955.62	0	0	0	951.33	0	0	920.45
2	951.09	0	0	0	940.41	0	0	928.18
3	953.89	0	0	0	965.23	0	0	0
4	956.22	0	0	0	959.67	0	0	904.03
5	954.80	0	0	0	950.64	0	0	919.76
6	952.22	0	0	0	945.25	0	0	0
7	950.75	0	0	0	953.02	0	0	0
8	949.64	0	0	0	959.23	0	0	0
9	948.78	0	0	0	943.86	0	0	0
10	948.51	0	0	0	957.08	0	0	0

Uji coba 1 USD menghasilkan bahwa keakurasian deteksi operator 1 USD terhadap template 1 USD adalah 100%, sedangkan untuk operator 10 USD pada saat pengujian geometric matching memberikan nilai pada saat pengujian ke-1, -2, -4,

dan -5 keakurasian operator ini terhadap template 1 USD adalah 60%.

Tabel 2 hasil uji 2 US Dollar asli terhadap seluruh template

Uji ke-	Gray Scale Matching				Geometric Matching			
	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$
1	0	956.17	0	0	0	936.05	0	0
2	0	951.58	0	0	0	932.93	0	0
3	0	952.04	0	0	0	946.19	0	0
4	0	950.48	0	0	0	944.32	0	907.01
5	0	950.36	0	0	0	927.87	0	929.43
6	0	949.95	0	0	0	945.08	0	0
7	0	949.92	0	0	0	942.77	0	0
8	0	950.31	0	0	0	936.3	0	0
9	0	949.47	0	0	0	942.41	0	0
10	0	948.29	0	0	0	946.05	0	0

Uji coba 2 USD menghasilkan bahwa keakurasian deteksi operator 2 USD terhadap template 2 USD adalah 100%, sedangkan untuk operator 10 USD pada saat pengujian geometric matching memberikan nilai pada saat pengujian ke-4, dan -5 keakurasian operator ini terhadap template 1 USD adalah 80%

Tabel 3 hasil uji coba 5 US Dollar terhadap seluruh template

Uji ke-	Gray Scale Matching				Geometric Matching			
	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$
1	0	0	981.67	0	0	0	945.47	0
2	0	0	978.40	0	0	0	938.86	0
3	0	0	978.74	0	0	0	960.47	921.24
4	0	0	978.03	0	0	0	951.18	0
5	0	0	977.42	0	0	0	933.29	0
6	0	0	977.48	0	0	0	931.88	0
7	0	0	977.28	0	0	0	941.63	0
8	0	0	977.08	0	0	0	935.79	0
9	0	0	977.1	0	0	0	944.06	0
10	0	0	976.61	0	0	0	933.64	0

Uji coba 5 USD menghasilkan bahwa keakurasian deteksi operator 5 USD terhadap template 5 USD adalah 100%, sedangkan untuk operator 10 USD pada saat pengujian geometric matching memberikan nilai pada saat pengujian ke-3 keakurasian operator ini terhadap template 5 USD adalah 90%.

Tabel 4 hasil uji 10 US Dollar asli terhadap seluruh template

Uji ke-	Gray Scale Matching				Geometric Matching			
	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$	1 US \$	2 US \$	5 US \$	10 US \$
1	0	0	0	972.89	0	0	0	980.20
2	0	0	0	970.72	0	0	0	978.95
3	0	0	0	971.23	0	0	0	972.75
4	0	0	0	971.54	0	0	0	977.73
5	0	0	0	970.16	0	0	0	977.22
6	0	0	0	970.23	0	0	0	975.62
7	0	0	0	969.99	0	0	0	977.16
8	0	0	0	970.69	0	0	0	977.27
9	0	0	0	970.17	0	0	0	974.77
10	0	0	0	971.08	0	0	0	982.16

Uji coba 10 USD menghasilkan bahwa keakurasian deteksi operator 10 USD terhadap template 10 USD adalah 100%. Untuk operator lain menghasilkan nilai 0, artinya seluruh template ketika deteksi 10 USD telah berada pada tempatnya atau sesuai dengan image deteksi.

3 Kesimpulan

Pada penelitian kali ini didapat kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji coba antar template memiliki keakurasian 100% untuk template 1 US Dollar, 100% untuk template 2 US Dollar, 100% untuk template 5 US Dollar, sedangkan untuk template 10 US Dollar memiliki keakurasian yang bervariasi dengan rata-rata 82.5% hal ini disebabkan oleh informasi citra template yang terekstraksi tidak sesuai dengan citra sumber
2. Dengan adanya penelitian ini didapat waktu transaksi yang lebih cepat dibandingkan dengan transaksi face to face dengan tingkat keakurasian yang tinggi
3. Sumber daya manusia yang digunakan pun menjadi lebih efisien, hal ini karena tidak perlu adanya campur tangan operator penyedia jasa dalam operasi penukaran uang ini
4. Dengan keakurasian yang tinggi ini, alat ini mampu menghindari penggunaan uang dollar palsu di kalangan masyarakat

4 Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis panjatkan pada Allah SWT. Karena atas karuniNya lah penulis mampu menyelesaikan karya ilmiah ini, tak lupa kedua orang tua penulis dan juga keluarga yang mendukung seluruh aktifitas dalam pembuatan karya ilmiah ini, serta bapak Iswahyudi Hidayat selaku dosen wali penulis, bapak Sigit Yuwono M.Sc,PhD selaku Ka-Prodi S1-Teknik Elektro Universitas Telkom, dan juga bapak Angga Rusdinar PhD selaku pembimbing 1, serta ibu Suci Aulia,S.T,M.T selaku pembimbing 2 dalam penulisan karya ilmiah ini, dan juga seluruh pihak yang membantu dalam penyusunan karya ilmiah ini penulis ucapkan banyak terima kasih.

5 Daftar Pustaka

- [1] National Instrument Corporation, "Introduction to LabVIEW 8 in 6 Hours"

- [2] *Pengertian Web Cam dan Fungsinya* .2011.
<http://wahyu.blog.fisip.uns.ac.id/2011/12/06/pengertian-web-cam-dan-fungsinya/>
- [3] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, 2002, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., USA
- [4] Telemark University College, "Control and Simulation in LabVIEW"
- [5] Gómez Rubén Posada, dkk. 2011, *Digital Image Processing Using LabVIEW*. Available from :
<http://www.intechopen.com/books/practical-applications-and-solutions-using-labview-software/digital-image-processing-using-labview>
- [6] National Instrument Corporation, "Image Acquisition and Processing with LabVIEW"
- [7] T. Mahalakshmi, dkk. Review Article : An Overview of Template Matching Technique in Image Processing. Published : December 15, 2012. School of Computing, SASTRA University.

Sistem Pakar Pencegahan Epidemi Demam Berdarah Dengue

Ria Arafiah¹, Med Rizal¹, Agus Buono², I Made Dewa Subrata³

¹Computer System Study Program, Department of Math

Faculty of Natural Science and Mathematics UNJ

Jl. Rawamangun Muka Jakarta Timur ,Jakarta, Indonesia

²Department of Computer Science

Faculty of Natural Science and Mathematics, IPB

Bogor,Jawa Barat , Indonesia

³Department of Mechanical Engineering Biosystem

Faculty of Engineering Technology Agriculture, IPB

Bogor,Jawa Barat , Indonesia

ria_lamrat@yahoo.com

Abstrak

Salah satu masalah pencegahan dan pemberantasan penyakit menular yang sampai saat ini masih merupakan masalah kesehatan masyarakat adalah penyakit *Dengue Haemorrhagic Fever* atau yang lebih dikenal dengan nama Demam Berdarah *Dengue* (DBD). Sejak tahun 1968, di Indonesia penyebaran penyakit DBD semakin meluas keseluruh wilayah Indonesia dan beberapa wilayah yang setiap tahunnya selalu ditemukan kasus sebagai daerah endemis. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pakar pencegahan epidemi demam berdarah dengue yang akan memberikan rekomendasi bagi pemerintah untuk melakukan langkah-langkah pencegahan yang optimal di daerah tersebut. Dengan adanya sistem pakar pencegahan epidemi DBD ini, diharapkan pemerintah daerah dapat lebih cepat dan efisien dalam membuat kebijakan karena dapat menggantikan para pakar dalam memberikan saran pencegahan.

Input Sistem adalah karakteristik daerah (kepadatan penduduk, akses transportasi umum), kesehatan lingkungan (keganasan virus dan angka bebas jentik), sedangkan output sistem adalah saran penanganan terhadap vektor DBD (nyamuk dan jentik), intensitas penyuluhan kesehatan lingkungan. Berdasarkan wawancara pakar dan penelusuran referensi dibangun rule base yang mendasari sistem pakar untuk membuat kesimpulan.

Kata Kunci: Sistem Pakar, epidemi DBD

1 Pendahuluan

Salah satu masalah pencegahan dan pemberantasan penyakit menular yang sampai saat ini masih merupakan masalah kesehatan masyarakat adalah penyakit *Dengue Haemorrhagic Fever* atau yang lebih dikenal dengan nama Demam Berdarah *Dengue* (DBD). Vektor penyakit DBD ini adalah nyamuk *Aedes aegypti* melalui gigitan yang berulang-ulang kepada orang yang susceptible (rentan). Malaysia dan Singapura telah

berhasil mencanangkan bebas demam berdarah karena adanya perhatian Pemerintah terhadap masalah Kesehatan Lingkungan, dengan melegitimasi persoalan kesehatan lingkungan dalam bentuk peraturan dan sanksi bagi rumah yang terdapat jentik nyamuk. Sementara Indonesia sejak tahun 1968 penyebaran penyakit DBD semakin meluas keseluruh wilayah Indonesia bahkan beberapa wilayah setiap tahunnya selalu menjadi daerah epidemi..

Upaya pencegahan penyebaran penyakit DBD melalui pemberantasan sarang nyamuk (PSN) dan pengendalian kasus belum berjalan secara optimal, karena didalam pemberantasan penyakit DBD tidak hanya memberantas nyamuk *Aedes aegypti* saja, tetapi juga memberantas virus *dengue* yang dibawa oleh nyamuk tersebut. Dengan demikian penekanan pemberantasan juga diarahkan pada upaya pengurangan jumlah nyamuk yang dapat membawa virus *dengue* dengan cara membunuh jentiknya. Sementara itu untuk menghilangkan jentik (larva) kurang mendapat perhatian dari masyarakat karena dianggap merupakan upaya yang tidak jelas hasilnya dibandingkan dengan pengasapan. (Sumantri A, 2008)

Demam berdarah dengue (DBD) masih merupakan masalah kesehatan masyarakat dan menimbulkan dampak sosial maupun ekonomi. Hasil survei menunjuk bahwa pengetahuan masyarakat tentang BDB masih kurang (Soeparmanto Paiman, dkk, 2000)..

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pakar pencegahan epidemi demam berdarah dengue yang akan memberikan rekomendasi bagi pemerintah untuk melakukan langkah-langkah pencegahan yang optimal. Pengetahuan sistem pakar dibangun dari informasi yang didapat dari

para pakar kesehatan lingkungan, petugas kesehatan, dan penelusuran referensi sehingga didapat rule yang mendasari sistem pakar dalam membuat keputusan.

2 Tinjauan Pustaka

2.1 Sejarah Epidemi Dengue

Penyakit Dengue merupakan salah satu penyakit menular yang berbahaya dapat menimbulkan kematian dalam waktu singkat dan sering menimbulkan wabah (Siregar, 2004). Penyakit tersebut pertama kali ditemukan pada tahun 1801 di Spanyol, tetapi istilah *dengue* pertama kali menjadi populer sejak terjadinya epidemik di Kuba tahun 1828. Kata *dengue* yang dalam bahasa Spanyol berarti *sopan santun* karena sikap membungkuk, mencerminkan cara berjalan penderita akibat rasa nyeri pada tulang dan sendi serta gangguan motorik pada lutut dan mata kaki.

Virus dengue termasuk virus RNA, kelompok *Arthropod Borne Virus (Arbovirus)*, genus *Flavivirus* familia *Falviviridae*, bentuk batang, berukuran 50 mm, bersifat termolabil, stabil pada suhu penyimpanan -70°C . Virus ini diisolasi pada tahun 1944 oleh Sabin dan kawan-kawan dari US Army di India, Papua New Guinea, dan Hawaii (Sabin 1952 dalam Gubler et al, 1979). Kelompok ini juga mengembangkan uji *haemagglutination inhibition test (Hi test)* untuk uji serologis. Virus yang ditemukan dari Hawaii disebut dengue - 1 (DEN-1) dan dari Papua New Guinea disebutnya DEN-2 dan hasil dari isolasi dari pasien DBD pada epidemik di Manila tahun 1956 disebut DEN-3 dan DEN-4 (Gubler, 1979). Untuk membedakan jenis virus, Poorwoedarmo (1988) menggunakan istilah tipe dengue 1, 2, 3, dan 4. Keempat serotipe virus dengue tersebut ditemukan di berbagai daerah, tetapi yang dominan di Indonesia adalah serotipe DEN 3.

Pada awalnya virus dengue hanya terdapat didalam hutan Afrika, jauh dari kehidupan manusia. Virus ini ditransmisikan ke manusia oleh *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* (Gubler et al, 1979) yang telah beradaptasi dengan lingkungan peridomestik dan bertelur di genangan-genangan air di sekitar lingkungan pemukiman akibat pembakaran hutan. Virus dengue tersebar keluar Afrika melalui perdagangan budak pada abad ke 17-19. Wabah DD/DBD mulai masuk ke Asia sesudah Perang Dunia II.

Di Asia Tenggara pertama kali terjadi di Manila Filipina pada tahun 1953 - 1954 dan kemudian tahun 1956 terulang kembali. Wabah demam yang terjadi di Filipina pada tahun 1953 menyerang

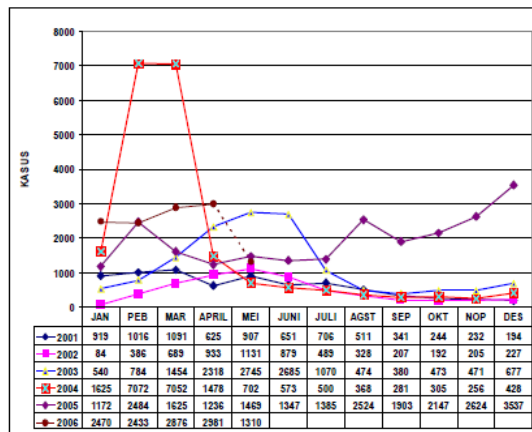
anak-anak disertai manifestasi perdarahan dan renjatan, dengan angka kematian hingga 6 % (Gubler et al, 1979). Untuk membedakan dengan wabah DBD yang sedang diteliti di Korea saat itu, maka wabah tersebut diberi nama *Philippine Haemorrhagic Fever*. Epidemik di Bangkok, tahun 1958 mencapai angka kematian 10 %. Saat itu di Hanoi, Vietnam Utara juga mengalami kejadian sama. Wabah juga terjadi di Singapura pada tahun 1960, Malaysia antara tahun 1962-1964 dan di Calcutta, India pada tahun 1963. (Poorwoedarmo, 1988). Penyakit demam berdarah dengue (DBD) pertama kali ditemukan di Kota Manila (Filipina) pada tahun 1953 kemudian menyebar ke berbagai negara. Penyakit ini sering menimbulkan wabah dan menyebabkan kematian pada banyak orang terutama anak-anak. Berikutnya wabah muncul berulang setiap tiga hingga lima tahun di banyak negara Asia Tenggara.

Di Indonesia penyakit ini ditemukan pada tahun 1968 di Surabaya tetapi konfirmasi virologist baru diperoleh pada tahun 1970 dan DKI Jakarta pertama kali dilaporkan (Kho, 1969 dalam Poorwoedarmo, 1988) dan mulai menjadi wabah pada tahun 1973 kemudian menyebar ke berbagai wilayah. Kini semua propinsi yang ada di Indonesia sudah terjangkit penyakit DBD di berbagai kota maupun desa terutama yang padat penduduknya dan arus transportasi lancar.

Indonesia menempati urutan kedua setelah Thailand, menurut Suroso (2001) menyebutkan, bahwa sejak ditemukannya kasus DBD di Surabaya tahun 1968 terus terjadi peningkatan dari 0,05 pada tahun 1968 menjadi 35,19 pada tahun 1998 per 100.000 penduduk. Sejak 1994 seluruh propinsi di Indonesia telah melaporkan kasus DBD (Departemen Kesehatan, 2003), *Case Fatality Rate (CFR)* tercatat 2,22 % pada tahun 1997. KLB tahun 2004 yang terjadi pada bulan Januari sampai April dengan jumlah kasus di seluruh Indonesia 58.861 dan 669 meninggal, di DKI Jakarta tercatat 16.950 kasus dengan 79 meninggal atau *incidence rate (IR)* sebesar 150,7 per 100.000 penduduk dan CFR 0,4. CFR untuk seluruh Indonesia adalah 2,0 tetapi di beberapa daerah seperti Nusa Tenggara Timur mencapai 4,0, Yogyakarta sebesar 3,8 dan Sulawesi Selatan 3,6.

2.2 Kasus DBD di Wilayah DKI Jakarta

Wilayah DKI Jakarta sejak tahun 2001 sampai dengan 2006, kasus DBD merupakan kasus yang terus menerus terjadi, bahkan sudah bisa disebut sebagai suatu siklus tahunan yang terus berulang, bahkan pada tahun 2004 bulan februari dan maret, terjadi KLB DBD (7072 kasus) untuk wilayah DKI Jakarta secara umum.



Gambar 2. Jumlah Kasus DBD Bersumber Surveilans Aktif RS Per Bulan di DKI Jakarta, 2001 – 2006 (s.d 17 Mei 2006)

Proses pengendalian nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor pembawa penyakit DBD dilakukan dengan berbagai cara, antara lain : Fogging (penyemprotan di daerah yang positif atau negative DBD), pemberian abate sebagai cara pengendalian jentik nyamuk, program 3M yang dilakukan secara berkesinambungan diseluruh wilayah DKI Jakarta.

Daerah (kelurahan) yang akan dikontrol dibedakan berdasarkan stratifikasi daerah (kelurahan) berdasarkan jumlah penderita DBD, dengan kriteria sebagai berikut:

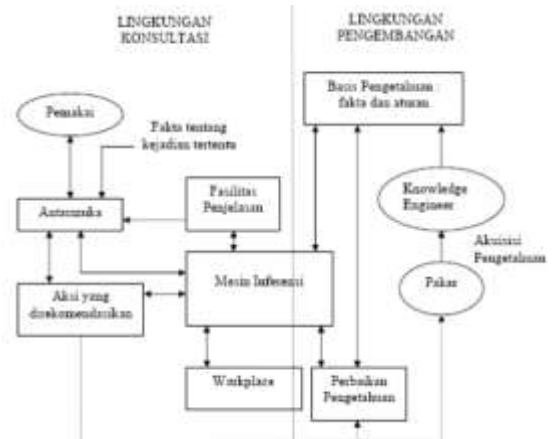
Tabel 1. Klasifikasi Daerah Berdasarkan Kasus DBD di Suatu Kelurahan

KATEGORI	KETENTUAN
MERAH	Dalam 1 minggu terjadi lebih dari 5 kasus DBD
KUNING	Dalam 1 minggu terjadi 1-5 kasus DBD
HIJAU	Dalam 3 minggu terjadi lebih dari 1-5 kasus DBD
PUTIH	Dalam 3 minggu berturut-turut tidak terjadi kasus DBD

2.3 Sistem Pakar

Sistem pakar (*expert system*) adalah sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli. Sistem pakar yang baik dirancang agar dapat menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli. Dengan sistem pakar, orang awam pun dapat menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya dapat diselesaikan dengan bantuan para ahli. Bagi

para ahli, sistem pakar juga akan membantu aktivitasnya sebagai asisten yang sangat berpengalaman. Sistem pakar dikembangkan pertama kali tahun 1960. (Marimin,2001). Contoh sistem pakar yang terkenal adalah MYCIN untuk diagnose penyakit. Adapun arsitektur sistem pakar di bawah ini adalah sebagai berikut:

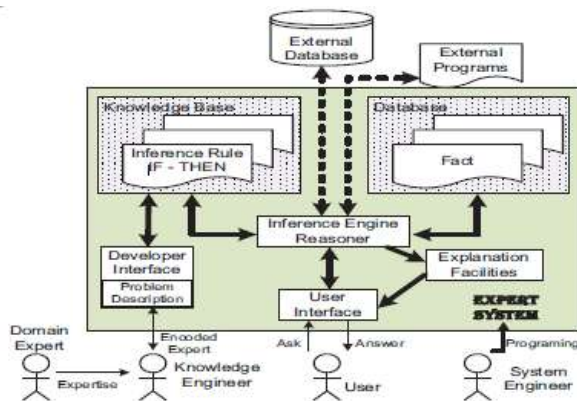


Gambar 3. Arsitektur Sistem Pakar (Marimin, 2000)

Pengetahuan adalah pemahaman teoritis atau praktis dari suatu subjek. Pada sistem pakar, pengetahuan seorang pakar dirumuskan dalam *rule of thumb* / ugeran dan direpresentasikan menggunakan silogisme logika seperti logika *IF... THEN...*, *AND*, *OR*, model matematika, pencarian derajat kemiripan (*R*) dll. Dengan informasi berupa ugeran tersebut, sistem pakar dapat melakukan 2 macam inferensi (penelusuran), yaitu; *pertama* menarik kesimpulan berdasarkan fakta-fakta yang ada (inferensi maju), *kedua*, Mencoba membuktikan hipotesis dengan merunut fakta-fakta yang mendukung (inferensi mundur). Sistem pakar juga mampu menarik kesimpulan berupa perkiraan dengan kemungkinan terbesar walaupun terdapat ketidakjelasan, kekurangan, atau ketidaksesuaian input. Hal ini dilakukan menggunakan *certainty factor* pada logika *IF... THEN...*, faktor signifikansi pada logika pencarian derajat kemiripan *R*, bobot neuron pada sistem jaringan saraf, dan lain-lain. Kumpulan informasi ugeran tentang suatu masalah khusus disebut dengan basis pengetahuan (*knowledge base*). Karena rumusan ugeran dalam bentuk silogisme logika, maka ugeran terdiri dari fakta (*antecedent*) dan kesimpulan (konsekuen).

Kumpulan fakta dan kesimpulan penunjang ugeran, contoh kasus, parameter-parameter sistem pakar, spesifikasi nilai input, dan kalimat-kalimat untuk interaksi dengan pengguna disimpan dalam dalam basis data (*database*). Pengguna melakukan interaksi dengan sistem pakar dengan menjawab pertanyaan interaktif

atau memasukkan input yang telah disediakan oleh basis data sistem pakar. Selanjutnya sistem pakar melakukan inferensi berdasarkan informasi dalam basis data dengan ugeran dalam basis pengetahuan untuk menghasilkan kesimpulan-kesimpulan atau buktibukti intermediet sampai memperoleh solusi/kesimpulan akhir atau pembuktian dari suatu hipotesa.



Gambar 4. Skema Umum Kerja Sistem Pakar (Hart A, 1986)

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan dan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Depkes RI, (2004), mengenai Kajian Kesehatan demam Berdarah Dengue. Hasilnya adalah cara yang paling efektif untuk mencegah penyakit DBD adalah Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dengan “3M Plus” yang melibatkan seluruh masyarakat serta disesuaikan dengan kondisi setempat. Paiman Soeparmanto (2000) mengenai Peningkatan Penanggulangan Demam Berdarah Dengue (DBD) Berbasis Masyarakat dengan Pendekatan Pendidikan Kesehatan. Hasilnya partisipasi masyarakat dapat ditingkatkan untuk membasmi sarang nyamuk Aedes Aegypti dengan penyuluhan yang digalakkan oleh Community Organizer dibantu pemuka-pemuka masyarakat, kader kesehatan dan ibu-ibu PKK. Irnawati Marsaulina S dan Arlinda Sari Wahyu (2006) Strategi Pencegahan Kejadian Luar Biasa (KLB) Demam Berdarah melalui pendekatan faktor risiko di kota Medan.

Arna Fariza, (2002), mengenai Performasi Neuro Fuzzy untuk Peramalan data Time Series. Hasilnya adalah metode ANFIS memiliki hasil yang sangat baik untuk peramalan data saham. Syafii, M. (2006) menggunakan ANFIS untuk memodelkan sistem diagnosa dan membuat sistem pakar tatalaksana penyakit demam berdarah dengue. Prof. The Houw Liong ITB, (2007) memprediksi banjir besar JABODETABEK menggunakan ANFIS. Banjir sesuai dengan data waktu puncak aktifitas

matahari (1981, 2002) dan aktifitas minimum (1996, 2007). Input model yang mereka kembangkan berupa deret waktu suatu kuantitas (bilangan sunspot, curah hujan, tinggi muka air, dsb). Arafiah Ria dan Alimuddin (2010) mengenai Prediction of price of local fruits in Jakarta with ANFIS . Hasilnya adalah prediksi secara baik dan akurat dengan error relatif kecil. Pradana dan Kusuma S, (2007) mengenai Kajian Aplikasi Diagnosis Penyakit Hepatitis Untuk Mobile Devices Menggunakan J2ME. Hasilnya adalah diagnosis penyakit hepatitis meliputi panduan pengamatan, pendeteksian, dan diagnosa dengan menggunakan sistem J2ME berbasis kaidah dan kasus. Sumantri Arif, Model Pencegahan Berbasis Lingkungan Terhadap Penyakit Demam Berdarah Dengue Propinsi DKI Jakarta, Hasilnya mengetahui pencegahan penyakit demam berdarah dengue berbasis lingkungan secara baik dan akurasi. Puspitasari D 2009, Sistem Pakar Diagnosa Diabetes Nefropathy dengan metode Certainty Factor Berbasis Web dan Mobile, menghasilkan pengetahuan akurat berdasarkan pengetahuan pakar dan dapat membantu melakukan diagnosis penyakit. Sintorini, M.M. 2006, Dinamika Penularan Demam Berdarah Dengue (DBD) dalam Kaitan dengan Pola Variabilitas Iklim (Studi Kasus DBD di DKI Jakarta), menghasilkan kaitan antara penularan DBD dengan variabilitas iklim.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai Mei 2015 sampai Desember 2015. Penelitian lapangan di lakukan di DKI Jakarta. Penelitian laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Komputer Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta dan Jurusan Ilmu Komputer Institut Pertanian Bogor.

Bahan yang digunakan untuk membuat sistem pakar pencegahan epidemi DBD adalah basis data yang berasal dari data lapangan. Data yang berasal dari lapangan adalah karakteristik daerah (kepadatan penduduk, akses transportasi umum), kesehatan lingkungan (keganasan virus dan angka bebas jentik). Perancangan Sistem Pakar pencegahan epidemi DBD menggunakan software MATLAB R2012a..

3.1 Pembuatan Sistem Pakar

1. Analisis

Analisis dilakukan dengan menggali informasi mengenai faktor-faktor utama yang dibutuhkan yang mempengaruhi sistem pencegahan penyakit demam berdarah

dengan variabel kepadatan penduduk, akses transportasi umum, keganasan virus, dan angka bebas jentik. Setelah itu dilakukan analisis terhadap pendapat pakar dan kaitannya dengan variabel input.

2. Perancangan dan Pembuatan Sistem

Perancangan dan pembuatan sistem dilalui dengan beberapa tahapan didalamnya, yaitu merancang rule base sistem pakar, menggunakan variabel input untuk mendapatkan output yang sesuai sehingga lolos dalam tahap pengujian.

3. Pengujian

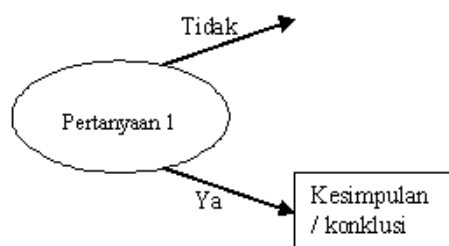
Dalam tahap ini dilakukan pengujian sistem dengan menggunakan data base yang telah dibangun.

4. Evaluasi

Pada tahap evaluasi ini, dilihat simpulan yang dapat ditarik dari hasil pengujian sistem. Jika ternyata hasil pengujian dirasakan tidak sesuai atau tidak menghasilkan nilai yang lebih baik, maka dilakukan kembali tahapan awal untuk memperoleh hasil yang lebih baik lagi.

Pada bagian ini akan dibahas prosedur perancangan, prosedur perancangan terdiri dari tahapan :

1. Langkah pertama adalah mendesain basis pengetahuan. Dilakukan dengan cara membuat pohon keputusan (*decision tree*). Terdapat dua bagian dalam pohon keputusan, node keputusan dan node konklusi.



Gambar 5 : Pohon Keputusan

2. Selanjutnya melakukan konversi dari Pohon Keputusan kedalam himpunan aturan IF-THEN, contoh :
IF pertanyaan 1 = Ya
THEN kesimpulan
3. Langkah terakhir adalah pengolahan basis pengetahuan. Untuk lebih jelasnya lihat pada bagian implementasi.

3.2 Implementasi Sistem

Bagian ini membahas mengenai implementasi komponen-komponen pembentuk sistem pakar yaitu : Basis pengetahuan, Mesin inferensi dan Antar muka pemakai

3.3 Basis pengetahuan

Basis pengetahuan merupakan representasi dari pengetahuan dari seorang pakar yang merupakan pola atau susunan dari fakta-fakta tentang objek dalam ruang lingkup suatu pengetahuan.

Implementasi basis pengetahuan berdasarkan perancangan sistem dilakukan dengan cara :

1. Pengisian tabel variabel : untuk menentukan pertanyaan
2. Pengisian table konklusi : untuk menentukan konklusi akhir
3. Pembuatan tabel himpunan aturan (IF-THEN rule)

3.4 Mesin Inferensi

Mesin inferensi pada dasarnya adalah memilih pengetahuan yang relevan dalam rangka mencapai kesimpulan. Terdapat dua metode pelacakan untuk mesin inferensi ini yaitu, *Forward chaining* dan *Backward chaining*. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Forward chaining* dimana pencocokan fakta atau pernyataan di mulai dari bagian sebelah kiri (bagian IF), dengan kata lain penalaran di mulai dari fakta terlebih dahulu untuk menguji kebenaran hipotesis.

Teknik Inferensi *Forward chaining* dapat diimplementasikan sebagai berikut :

1. Kondisi ditentukan terlebih dahulu.
2. Variabel kondisi disimpan di antrian variabel konklusi dan nilainya ditandai di daftar variabel.
3. Daftar variabel klausa dicari untuk variabel yang mempunyai nama yang sama seperti variabel pertama di antrian variabel konklusi. Jika ditemukan, nomor aturan dan nomor variabel klausa disimpan ke dalam penunjuk variabel klausa. Jika tidak ditemukan maka langsung menuju tahap ke-6.
4. Tiap variabel pada klausa IF dari aturan tersebut yang nilainya masih kosong sekarang telah diisi. Jika semua klausa nilainya benar maka bagian THEN diminta.
5. Bagian THEN yang telah diberi nilai dari variabel tersebut disimpan dibelakang antrian variabel konklusi.

6. Jika tidak ada lagi variabel yang berisi pernyataan IF diantrian variabel konklusi, variabel tersebut dihapus.

4 Hasil Yang Dicapai

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian sudah sampai pada pengembangan sistem pakar pencegahan DBD. Input dari sistem adalah karakteristik masyarakat (kepadatan penduduk dan akses transportasi umum) dan kondisi kesehatan masyarakat (keganasan virus dan angka bebas jentik). Sistem pakar didesain untuk memberikan saran pencegahan epidemi DBD di suatu kelurahan, dengan mengacu pada hasil prediksi daerah dan waktu terjadi DBD yang merupakan hasil dari penelitian tahun sebelumnya.

Tampilan Antar Muka Sistem Pakar Pencegahan Demam Berdarah Dengue, sebagai berikut:



Gambar 6. Tampak Muka Sistem Pakar Pencegahan DBD

5 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan yang sudah dilakukan dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan dan saran sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan

1. Dengan menggunakan input karakteristik daerah (kepadatan penduduk, akses transportasi umum), kesehatan lingkungan (keganasan virus dan angka bebas jentik) telah dibuat rancangan Sistem Pakar pencegahan epidemi DBD yang memberikan saran pencegahan epidemi DBD dalam hal pengendalian vektor (nyamuk *Aedes Aegypti*),

pengendalian jentik, penyuluhan kesehatan masyarakat.

2. Pengembangan sistem pakar pencegahan DBD berdasarkan aturan inferensi dan basis data berasal dari pendapat pakar kesehatan lingkungan, data lapangan, dan hasil penelitian.

5.2 Saran

1. Pengguna Sistem Pakar pencegahan epidemi DBD perlu dibedakan antara pengguna masyarakat umum ataupun pemerintah daerah, sehingga lebih sesuai langkah yang harus dilakukan.
2. Perlu dikembangkan sistem pakar untuk penanganan epidemi DBD dari sisi kesehatan masyarakat yang didukung pakar medis berbasis web sehingga dapat dimanfaatkan semua kalangan, setiap saat.
3. Penelitian selanjutnya, dapat dikembangkan sistem pakar yang dapat digunakan untuk meningkatkan daya tahan tubuh (auto imun) seseorang terhadap virus DBD terutama DEN-3

6 Daftar Pustaka

- [1] Alimuddin, Kudang KB, I Dewa M S, Nakao Nomura, Sumiati, Temperature Control System in Closed House for Broilers Based on ANFIS, Indonesia Journal of Electrical Engineering Vol.10.No.1 March 2012, ISSN 1693-6930 Accredited by DGHE Decree No:51/DIKTI/Kep/2010.
- [2] A.Sukmawati. 2002. Pengembangan Model Fuzzy Berlian Keunggulan Kompetitif pada Industri Pengolahan Susu Di Indonesia, Jurnal Med. Pet.Vol.25.No.2. Fakultas Peternakan IPB. Bogor.
- [3] Arafiah R and Alimuddin, 2010, Prediction of price of local fruits in Jakarta with ANFIS. (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), International Conference AFITA Bogor Indonesia
- [4] Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan DEPKES RI, 2004, Kajian Kesehatan Demam Berdarah Dengue, Jakarta
- [5] Fariza, A., Hellen, A. dan Rasyid, A. (2007). Performansi Neuro Fuzzy Untuk Peramalan Data Time Series. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, Yogyakarta.
- [6] Gubler, D.J. S. Nalim, R. Tan, H. Saipan, J.S. Saroso. 1979. Variation in susceptibility to oral infection with dengue viruses among geographics strain of *Aedes aegypti*. U.S. Naval Medical Research Unit no 2. Jakarta

- Detachment and National Institute of Health Research and Development. Ministry of Health. Jakarta am. J. Trop. Med Hyg, 28(6).
- [7] Hadinegoro, S.R.H., H.I. Satari. 2002. Demam Berdarah Dengue.
- [8] Hart, A. 1986. Knowledge Acquisition for Expert Systems. McGraw-Hill book Co. New York
- [9] Irnawati Marsaulina S dan Arlinda Sari Wahyu (2006) Strategi Pencegahan Kejadian Luar Biasa (KLB) Demam Berdarah melalui pendekatan faktor risiko di kota Medan, Jurnal Info Kesehatan Masyarakat Volume X No 1 2006, ISSN 1410-6434
- [10] Jang J.S.R., Sun. C.T., Miztani. E., (1997), Neuro-Fuzzy and Soft Computing Prentice-Hall International, New Jersey.
- [11] Judarwanto, W. 2007. Profil Nyamuk Aedes dan Pembasmiannya. (<http://www.indonesiaindonesia.com/f/13744-profil-nyamuk-aedes-pembasmiannya/>)
- [12] Kristina dkk, 2004, Demam Berdarah Dengue, (<http://www.litbang.depkes.go.id/maskes/052004/demamberdarah1.htm>)
- [13] Kusumadewi, S., 2002, "Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab", Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [14] Marimin. 2001. Teori dan Aplikasi Sistem Pakar dalam Teknologi Manajerial. Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor
- [15] Pradana CP dan Kusuma Sri, 2007 Aplikasi Diagnosis Penyakit Hepatitis Untuk Mobile Devices Menggunakan J2ME, Media Informatika, Vol. 5, No. 2, Desember 2007, 87-98
- [16] ISSN: 0854-4743
- [17] Poorwosoedarmo, S.S. 1988. Demam berdarah (dengue) pada anak. Universitas Indonesia. Jakarta.
- [18] Puspitasari D 2009, Sistem Pakar Diagnosa Diabetes Nefropathy dengan metode Certainty Factor Berbasis Web dan Mobile, Polteknik PNS ITS Surabaya
- [19] Soeparmanto Paiman, dkk, 2000, Peningkatan Penanggulangan Demam Berdarah Dengue (DBD) Berbasis Masyarakat dengan Pendekatan Pendidikan Kesehatan, Center for Research and Development of Health Services and Technology, NIHRD
- [20] Suroso, T. 2001. Perubahan iklim dan kejadian penyakit yang ditularkan vektor. Semiloka Perubahan Iklim dan Kesehatan. Kerjasama Depkes-WHO, Ciloto.
- [21] Siregar, A.F. 2004. Epidemiologi dan Pemberantasan Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia. Fakultas Kesehatan Masyarakat USU. Medan.
- [22] Sintorini, M.M. 2006. Dinamika Penularan Demam Berdarah Dengue (DBD) dalam Kaitan dengan Pola Variabilitas Iklim (Studi Kasus DBD di DKI Jakarta). Jurnal Teknik Lingkungan Edisi Khusus. Universitas Trisakti. Jakarta.
- [23] Syafii, Muhammad. 2006. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) untuk Diagnosa dan Tatalaksana Penyakit Demam Berdarah Dengue. Tesis Ilmu Komputer IPB, Bogor.
- [24] Sumantri Arif, 2008 Model Pencegahan Berbasis Lingkungan Terhadap Penyakit Demam Berdarah Dengue Propinsi DKI Jakarta, Disertasi Program Doktor Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Sekolah Pascasarjana IPB Bogor.
- [25] Taufik dan Marimin. 2001. Pengembangan system pakar fuzzy penilaian performa daya saing agroindustri. Di dalam: Prosiding Kecerdasan Komputasional II; Depok; 16-17 Oktober 2001. Depok: Universitas Indonesia. Hlm 127-133.
- [26] The Houw Liong, P.M. Siregar, R. Gernowo, F. Heru Widodo, 2007; Prediksi Jangka Panjang Iklim di Indonesia Berdasarkan Aktivitas Matahari dengan ANFIS, Seminar Masyarakat Hidrologi Indonesia, Jakarta,

Aplikasi *Mobile* menggunakan *Framework Phonegap* untuk *Monitoring Persediaan Barang* pada Perusahaan Distribusi Secara *Real-Time*

¹Jordy Saragih, ²Atje Setiawan Abdullah, ³Juli Rejito

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika Departemen Matematika FMIPA Universitas Padjadjaran

¹jordysaragih@gmail.com, ²atjesetiawan@gmail.com, ³jrejito@unpad.ac.id

Abstrak

Pada era teknologi informasi seperti sekarang ini, efisiensi waktu dan tenaga serta kemudahan dalam mendapatkan suatu informasi sangatlah dibutuhkan. Dalam sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang penjualan dan distribusi barang, aplikasi untuk monitoring kondisi, ketersediaan, dan akurasi jumlah barang secara real time menjadi suatu kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan.

Rancangan aplikasi mobile yang dibangun memiliki antarmuka berbasis web memanfaatkan pemrograman berorientasi objek yang didukung framework phonegap dan pemrograman script PHP sehingga aplikasi ini dapat dipergunakan secara mobile kapanpun dan dimanapun secara real time. Implementasi aplikasi mobile ini menggunakan arsitektur client-server tersambung pada jaringan internet, dengan antarmuka aplikasi pada posisi client dapat menggunakan smartphone dan tablet, sedangkan server databasenya menggunakan Mysql. Disamping aplikasi mobile yang dimanfaatkan untuk monitoring, disini yang lain dibangun juga aplikasi untuk update transaksi barang.

Dari hasil pengujian aplikasi dihasilkan kesimpulan bahwa update data transaksi barang masuk dan keluar menjadi bagian yang terpenting sehingga aplikasi mobile dapat menyajikan informasi tentang persediaan barang. Aplikasi mobile ini memberikan kemudahan karena informasi yang dihasilkan secara cepat dan akurat serta real time kepada pimpinan perusahaan dapat dijadikan sebagai bahan dalam mengambil keputusan bisnis.

Kata Kunci: aplikasi mobile, framework, PhoneGap, real time.

produktivitas perusahaan tersebut. Banyak perusahaan melakukan penyimpanan data secara manual, berpindah menggunakan software pendukung yang umum digunakan untuk menyimpan data-data barang yang masuk dan keluar, serta ketersediaan barang yang ada di gudang. Namun kendala dalam menampilkan data tetap ditemukan ketika semua informasi tersebut dibutuhkan dengan cepat dan akurat, sehingga dibutuhkan software aplikasi yang lebih sesuai untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut.

Smartphone adalah sebuah ponsel yang menawarkan kemampuan lebih serta komputasi canggih dan konektivitas dari telepon dengan fitur terbaru.^[1] Mereka jauh lebih efisien dalam faktor bentuk, jenis chip, kapasitas penyimpanan internal, masa pakai baterai dan sistem operasi. *Platform mobile modern* yang banyak dikenal adalah Symbian, iPhone, Android, Windows Phone 7, Palm, Blackberry, dll.^[2] Aplikasi *hybrid* adalah kombinasi dari aplikasi asli dan aplikasi Web. Kerangka *smartphone* dipengaruhi oleh cepatnya teknik pengembangan aplikasi.^[3]

PhoneGap adalah sebuah *framework open-source* yang dapat membangun aplikasi *mobile cross-platform* seperti pada iOS dan Android. PhoneGap menjadi trend sejak tahun 2009 dan versi stabil dari PhoneGap dirilis pada April 2015. Dalam pengembangannya, PhoneGap hanya menggunakan bahasa Html, javascript dan CSS tanpa perlu menggunakan java(android), objective C(ios), c# untuk windows phone, dsb. Sampai saat ini telah ada lebih dari tiga ribu enam ratus aplikasi yang dibuat menggunakan PhoneGap, seperti Snowbuddy, Sworkit, dan lainnya. Aplikasi PhoneGap dikembangkan menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript. Namun produk akhir dari aplikasi PhoneGap adalah aplikasi arsip biner yang dapat didistribusikan melalui ekosistem aplikasi standar.^[4]

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Mampu menampilkan data persediaan barang secara *online* dan *realtime*, serta tepat dan akurat, dengan sistem monitoring pada perangkat mobile serta (2) Membangun fitur-fitur yang terdapat pada sistem monitoring pada perangkat *mobile* sehingga mampu meningkatkan efisiensi operasional perusahaan distribusi, serta mampu menyelesaikan masalah terkait dengan

1 Pendahuluan

Dewasa ini, perkembangan teknologi informasi begitu cepat, sehingga sangat membantu manusia dalam menyelesaikan pekerjaan yang ada. Dahulu manusia menyimpan semua dokumen dan informasi menggunakan kertas secara manual, kemudian disimpan dalam suatu tempat, sekarang metode penyimpanan tersebut berubah menjadi penyimpanan *file* yang berisikan data perusahaan menggunakan komputer (*computerized*). Diharapkan penyimpanan data dapat dilakukan dengan baik, dan terhindar dari kesalahan yang mungkin terjadi apabila penyimpanan dilakukan secara manual.

Setiap perusahaan yang bergerak dalam bidang penjualan dan distribusi barang memiliki kebutuhan informasi yang berbeda-beda untuk memenuhi kebutuhan serta meningkatkan

persediaan barang pada perusahaan distribusi yang tidak dapat dimonitor secara *online* dan *realtime*.

2 Landasan Teori

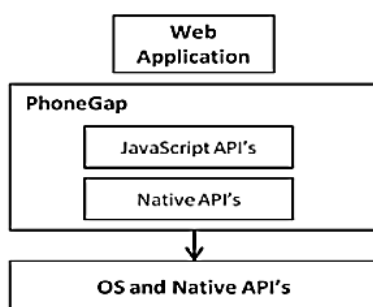
Pada penelitian digunakan beberapa landasan teori sebagai acuan pada pembuatan aplikasi *mobile*.

2.1 PhoneGap

PhoneGap adalah sebuah kerangka kerja atau *framework open source* yang dipakai untuk membuat aplikasi *cross-platform mobile* dengan HTML5, CSS, dan JavaScript. PhoneGap menjadi suatu solusi yang ideal untuk seorang pengembang web yang tertarik dalam pembuatan aplikasi di *smartphone*. dengan *framework* phonegap kita hanya melakukan satu kali *coding* langsung bisa di *compile* ke semua *platform* sekaligus.^[5]

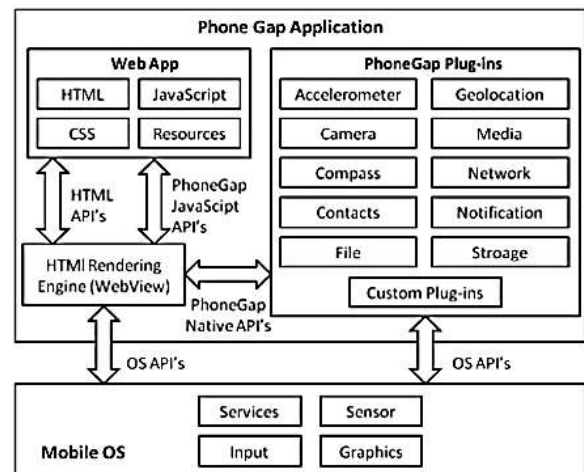
PhoneGap memberikan JavaScript API untuk pengembang yang memungkinkan akses ke fungsi perangkat canggih, seperti Accelerometer, Barcode, Bluetooth, Kalender, Kamera, Kompas, Connection, Kontak, File, GPS, Menu, NFC, dll^[6]

Arsitektur utama PhoneGap terdiri dari tiga lapisan: Aplikasi Web, PhoneGap, dan OS dan API asli. Pada Gambar 1 dijelaskan bahwa lapisan atas merupakan kode sumber aplikasi. Lapisan tengah terdiri oleh JavaScript dan API asli. Utamanya, lapisan ini bertanggung jawab untuk interfacing antara aplikasi web dan lapisan PhoneGap.^[7]



Gambar 1 Lapisan Interface Dari Arsitektur PhoneGap

Pada Gambar 2 ditunjukkan arsitektur skema yang lebih rinci yang disediakan oleh IBM. Ini mewakili semua komponen tentang aplikasi web, mesin rendering HTML, PhoneGap API dan lapisan OS. Selain itu, beberapa antarmuka yang berbeda ditunjukkan dalam detail, seperti *interfacing* antara API PhoneGap dan lapisan API asli.^[8]



Gambar 2 Skema Lengkap Arsitektur PhoneGap Dan Interfacing Antar Komponen

2.2 HTML

HTML adalah singkatan dari *Hypertext Markup Language*. Disebut *hypertext* karena di dalam HTML sebuah text biasa dapat berfungsi lain, kita dapat membuatnya menjadi *link* yang dapat berpindah dari satu halaman ke halaman lainnya dengan hanya meng-klik text tersebut. Kemampuan text inilah yang dinamakan *hypertext*, walaupun pada implementasinya nanti tidak hanya text yang dapat dijadikan *link*.

Disebut *Markup Language* karena bahasa HTML menggunakan tanda (*mark*), untuk menandai bagian-bagian dari teks. Misalnya, teks yang berada di antara tanda tertentu akan menjadi tebal, dan di antara tanda lainnya akan tampak besar. Tanda ini akan kita kenal di HTML sebagai tag.

HTML merupakan bahasa dasar pembuatan web. Disebut dasar karena dalam membuat web, jika hanya menggunakan HTML, tampilan web kita akan terasa hambar. Terdapat banyak bahasa pemrograman web yang ditujukan untuk memanipulasi kode HTML, seperti JavaScript dan PHP. Namun sebelum belajar JavaScript maupun PHP, memahami HTML merupakan hal yang paling awal.

HTML bukan bahasa pemrograman (*programming language*), tetapi bahasa *markup* (*markup language*), hal ini terdengar sedikit aneh, tapi jika telah mengenal bahasa pemrograman lain, dalam HTML tidak akan ditemukan struktur yang biasa di temukan dalam bahasa pemrograman seperti IF, LOOP, maupun variabel. HTML hanya sebuah bahasa struktur yang fungsinya untuk menandai bagian-bagian dari sebuah halaman.^[9]

2.3 CSS

CSS adalah kumpulan kode yang digunakan untuk mendefinisikan desain dari bahasa *markup*, dimana bahasa markup ini salah satunya adalah HTML. Dengan kata lain, CSS adalah kumpulan kode program yang digunakan untuk mendesain atau mempercantik tampilan halaman HTML. Dengan CSS kita bisa mengubah desain dari teks, warna, gambar dan latar belakang dari hampir semua kode *tag* HTML.

CSS biasanya selalu dikaitkan dengan HTML, karena keduanya memang saling melengkapi. HTML ditujukan untuk membuat struktur, atau konten dari halaman web. Sedangkan CSS digunakan untuk tampilan dari halaman web tersebut. Istilahnya, "*HTML for content, CSS for Presentation*".^[9]

2.4 JavaScript

JavaScript adalah bahasa pemrograman web yang bersifat *Client Side Programming Language*. *Client Side Programming Language* adalah tipe bahasa pemrograman yang pemrosesannya dilakukan oleh *client*. Aplikasi *client* yang dimaksud merujuk kepada *web browser* seperti Google Chrome dan Mozilla Firefox. Jenis bahasa pemrograman *Client Side* berbeda dengan bahasa pemrograman *Server Side* seperti PHP, dimana untuk *server side* seluruh kode program dijalankan di sisi *server*.

Untuk menjalankan JavaScript, dibutuhkan aplikasi *text editor*, dan *web browser*. JavaScript memiliki fitur: *high-level programming language*, *client-side*, *loosely typed*, dan berorientasi objek.

JavaScript pada awal perkembangannya berfungsi untuk membuat interaksi antara pengguna dengan situs web menjadi lebih cepat tanpa harus menunggu pemrosesan di *web server*. Sebelum javascript, setiap interaksi dari user harus diproses oleh *web server*.

Sebelum dikembangkan javascript, mengisi *form* registrasi untuk pendaftaran sebuah situs web, lalu men-klik tombol submit, menunggu sekitar 20 detik untuk website memproses isian form tersebut, dan mendapati halaman yang menyatakan bahwa terdapat kolom form yang masih belum diisi. Untuk keperluan seperti inilah JavaScript dikembangkan. Pemrosesan untuk mengecek apakah seluruh form telah terisi atau tidak, bisa dipindahkan dari *web server* ke dalam *web browser*.

Dalam perkembangan selanjutnya, JavaScript tidak hanya berguna untuk validasi *form*, namun untuk berbagai keperluan yang lebih *modern*. Berbagai animasi untuk mempercantik halaman web, fitur *chatting*, efek-efek *modern*, *games*,

semuanya bisa dibuat menggunakan JavaScript. Akan tetapi karena sifatnya yang dijalankan di sisi *client* yakni di dalam *web browser* yang digunakan oleh pengunjung situs, pengguna sepenuhnya dapat mengontrol eksekusi JavaScript. Hampir semua *web browser* menyediakan fasilitas untuk mematikan JavaScript, atau bahkan mengubah kode JavaScript yang ada. Sehingga kita tidak bisa bergantung sepenuhnya kepada JavaScript.^[10]

2.5 Ionic

Ionic adalah *platform* yang mentargetkan programmer web agar bisa membuat aplikasi mobile dengan teknologi web. Programmer web yang ingin menjadi programmer *mobile* tidak perlu belajar Java atau Objective C atau C# untuk membuat versi Aplikasi dari layanan webnya. Inilah pandangan dari pendiri Ionic. Sebelumnya, pendiri ionic ingin membuat gebrakan revolusioner dengan konsep mengubah konsep *Write one Run Anywhere* dengan satu *base code* berbasis javascript.

Ketika ide ini disampaikan ke para programmer Android atau iOS, ide ini tidak disambut hangat karena tidak semua bisa dilakukan dengan teknologi web. Salah satunya adalah pemrograman permainan di *smartphone* yang memanfaatkan *openGL ES* atau aplikasi yang sangat tergantung sensor. Dari sinilah pengembang Ionic akhirnya mempivot targetnya adalah untuk para programmer web yang ingin membuat aplikasi mobile (biasanya aplikasi bisnis) tanpa harus belajar bahasa pemrograman lain.

Ionic platform menggunakan lisensi *opensource*, programmer dapat membuat aplikasi *free* ataupun komersil dengan Ionic. Target ionic hanya untuk Android 4 dan ios 7 Keatas. Ionic hanya menyediakan *framework*-nya, untuk membungkusnya menjadi aplikasi Android atau iOS tetap menggunakan PhoneGap.^[11]

3 Analisis

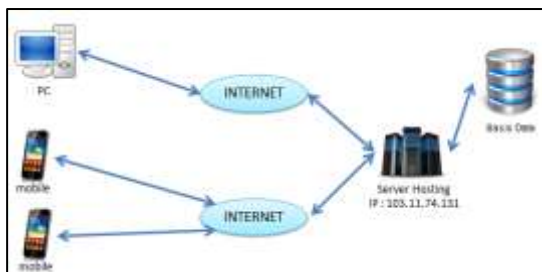
Sistem perlu untuk dianalisis agar dapat memberikan gambaran umum kepada pengguna tentang sistem yang akan dibuat. Keunggulan dan kelemahan sistem dapat diketahui dan dapat dijadikan acuan tahapan evaluasi. Penelitian ini disusun berdasarkan analisis tentang tahapan dan cara membangun suatu aplikasi, untuk mengetahui informasi-informasi mengenai data yang ada pada aplikasi.

Aplikasi mobile ini diintegrasikan dengan *database* atau basis data yang menyimpan data-data mengenai informasi yang dibutuhkan dalam membangun aplikasi. Aplikasi ini dibangun

berdasarkan kebutuhan-kebutuhan sebagai berikut:

1. Mampu memberikan informasi yang dibutuhkan oleh pengguna. Informasi yang dimaksud adalah informasi mengenai daftar item, daftar supplier dan persediaan barang.
2. Dapat melihat persediaan barang secara *online* dan *realtime* dari manapun.

Arsitektur sistem adalah desain sistem komputer secara keseluruhan untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan organisasi yang spesifik. Arsitektur sistem informasi berguna sebagai penuntun bagi operasi sekarang atau menjadi cetak-biru (*blueprint*) untuk arahan di masa mendatang. Gambar 3 menjelaskan tentang arsitektur sistem aplikasi secara umum.

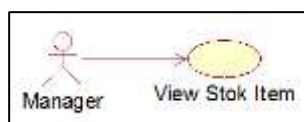


Gambar 3 Arsitektur Sistem Aplikasi

3.1 Perancangan UML

Proses pengembangan perangkat lunak dibutuhkan analisis dan rancangan. Salah satu model untuk merancang pengembangan perangkat lunak yang berbasis *object oriented* adalah UML (*Unified Modelling Language*).

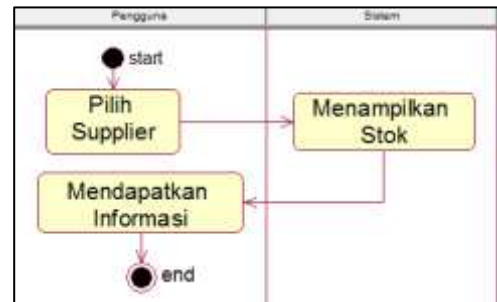
Diagram use case mendeskripsikan interaksi antara pengguna sistem dengan sistem itu sendiri dengan menggambarkan kebutuhan sistem dari sudut pandang di luar sistem. Diagram use case menentukan nilai yang diberikan oleh sistem kepada pemakai. Gambar 4 menjelaskan bahwa pengguna sistem monitoring pada perangkat mobile adalah manager, dan pada sistem monitoring ini pengguna dapat melihat stok item secara *realtime*.



Gambar 4 Diagram Use Case

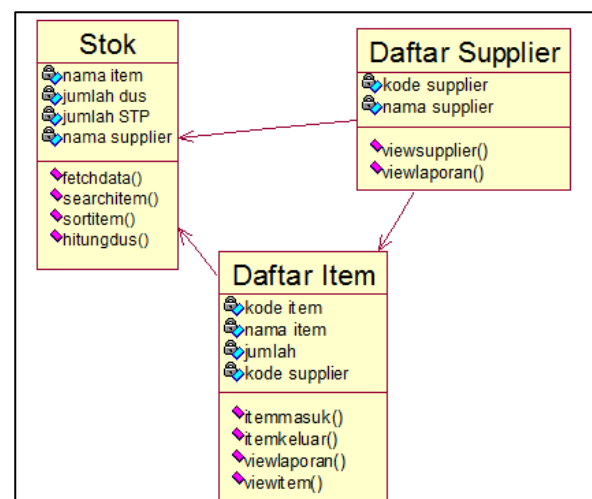
Diagram aktivitas menggambarkan berbagai aliran aktivitas dalam sistem yang sedang dirancang. Gambar 5 menjelaskan alur ketika pengguna menggunakan sistem monitoring pada perangkat

mobile. Pengguna dapat memilih supplier dan sistem akan menampilkan persediaan barang sesuai dengan supplier yang telah dipilih, atau pengguna dapat menampilkan persediaan barang secara keseluruhan tanpa memilih supplier terlebih dahulu.



Gambar 5 Diagram Aktivitas

Diagram kelas menggambarkan kelas-kelas yang terdapat pada sistem monitoring. Gambar 6 menjelaskan tentang kelas-kelas yang ada pada sistem monitoring. Pada supplier terdapat kelas-kelas *public* yaitu kode supplier dan nama supplier serta terdapat operasi *viewsupplier* dan *viewlaporan*. Pada item terdapat kelas-kelas *public* yaitu kode item, nama item, jumlah dan kode supplier serta terdapat operasi *itemmasuk*, *itemkeluar*, *viewlaporan*, *viewitem*. Pada stok terdapat kelas-kelas *public* yaitu nama item, jumlah dus, jumlah STP, dan nama supplier serta terdapat operasi *fetchdata*, *searchitem*, *sortitem*, dan *hitungdus*.



Gambar 6 Diagram Kelas

Diagram sekuensial merupakan diagram interaksi yang menekankan pada pengiriman pesan dan menggambarkan alur kerja dari fungsi-fungsi dalam sistem tersebut secara terurut. Gambar 7

menjelaskan tentang hubungan antara pengguna ke sistem monitoring apabila pengguna menjalankan sistem monitoring. Pengguna dapat memilih supplier untuk dapat menampilkan stok item dari supplier tertentu. Sistem akan melakukan verifikasi lalu data stok item ditampilkan oleh sistem.



Gambar 7 Diagram Sekuensial

Diagram kolaborasi adalah diagram yang menekankan kepada struktur aliran dari objek – objek yang mengirim dan menerima pesan. Gambar 8 menjelaskan tentang hubungan antara pengguna ke sistem monitoring pada perangkat *mobile* dan sebaliknya. Interface akan menampilkan opsi filter untuk memilih satu supplier tertentu. Setelah pengguna memilih satu buah supplier maka interface akan mengirimkan data kepada sistem, lalu sistem akan menampilkan stok item sesuai dengan supplier yang dipilih user melalui interface. Apabila pengguna tidak memilih supplier, maka sistem akan menampilkan stok item dari seluruh supplier tanpa terkecuali.

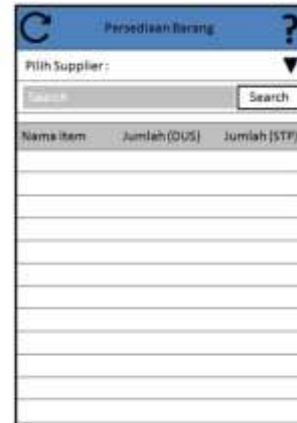


Gambar 8 Diagram Kolaborasi

3.2 Perancangan Antarmuka

Dalam pembuatan sebuah aplikasi, rancangan antarmuka merupakan bagian yang sangat penting untuk menggambarkan komunikasi antara sistem dengan pengguna. Tujuan dari merancang antarmuka adalah untuk mempermudah pengguna dalam menggunakan sistem tersebut, serta mempermudah dalam pembuatan aplikasi itu sendiri, sehingga proses pembuatan aplikasi

menjadi terstruktur dan sistematis. Dengan rancangan antarmuka yang baik dan mudah dimengerti, maka aplikasi dapat dibuat dengan lebih baik dan lebih cepat, serta informasi yang akan ditampilkan oleh sistem lebih mudah diterima oleh pengguna sehingga penggunaan aplikasi menjadi lebih efektif.



Gambar 9 Rancangan Interface Halaman Utama

Gambar 9 menjelaskan rancangan halaman utama aplikasi mobile. Halaman ini akan memberikan informasi kepada pengguna tentang persediaan barang. Pengguna dapat melakukan *filter* dengan memanfaatkan *dropdown menu* untuk memilih supplier dan kolom *search* untuk kata kunci tertentu. Di pojok kiri atas terdapat tombol *refresh* untuk melakukan penarikan data ulang dari *database* sehingga data yang ditampilkan adalah data terbaru. Di pojok kanan atas terdapat tombol *about* yang akan mengantarkan pengguna ke halaman *about*.

Selain halaman utama, akan dibangun pula *splash screen* dari aplikasi mobile yang akan muncul selama beberapa detik ketika pengguna memulai aplikasi monitoring tersebut, dan halaman *about* guna memberikan informasi kepada pengguna tentang hal yang perlu pengguna ketahui tentang aplikasi ini dan tentang perusahaan. Di bagian bawah terdapat tombol *back* yang akan mengantarkan pengguna kembali ke halaman sebelumnya.

4 Implementasi

Implementasi perancangan antarmuka pada sistem merupakan peranan yang penting, karena pada implementasi inilah bagaimana cara pengguna menggunakan sistem aplikasi yang telah dibuat dijelaskan. Berdasarkan perancangan sistem yang dibuat, halaman sistem aplikasi *mobile* yang dibangun adalah *splash screen*,

halaman monitoring, halaman *about*, dan ada penambahan halaman diagram.



Nama Item	Jumlah (DUS)	Jumlah (STP)
Barang Kertas A (Kertas)	87	34
Barang Kertas B (Kertas)	20	24
Barang Kertas C (Kertas)	34	10
Barang Kertas D (Kertas)	470	9
Barang Kertas E (Kertas)	407	7
Barang Kertas F (Kertas)	244	7
Barang Kertas G (Kertas)	100	8
Barang Kertas H (Kertas)	100	8
Barang Kertas I (Kertas)	97	8
Barang Kertas J (Kertas)	44	8
Barang Kertas K (Kertas)	98	11
Barang Kertas L (Kertas)	9	8

Gambar 10 Tampilan Halaman Utama Aplikasi Mobile

Gambar 10 menjelaskan tampilan halaman utama sistem monitoring. Sistem akan mengantarkan pengguna kepada halaman ini sesaat setelah halaman *splash screen* dimunculkan. Pada halaman ini pengguna dapat melihat persediaan barang secara *real time*, dengan rincian nama item, jumlah (DUS), dan jumlah (STP). Pengguna dapat memilih supplier tertentu atau melakukan pencarian kata kunci tertentu untuk memudahkan dalam melihat data.

Kode Program Halaman Utama Aplikasi Mobile

```
$http.get("http://stok.rjs.co.id/api/index.php")
.success(function(Data) {$scope.Data=Data.users;
console.log($scope.Data)});

$http.get("http://stok.rjs.co.id/api/sup.php")
.success(function(Supplier) {
$scope.Supplier=Supplier.users;
console.log($scope.Supplier)

$scope.search= function(query){
console.log("searching");
$scope.searchitem = query;

$http.get("http://stok.rjs.co.id/api/search.php?search="+$scope.searchitem+"&order="+$scope.sorttoggle)
.success(function(Data) {
$scope.Data = {}; $scope.Data=Data.users;
$scope.State = "search";
$scope.StateSearch = $scope.searchitem;

$scope.sort= function(){
console.log("sorting");
if ($scope.sorttoggle=="asc") {
```

```
$scope.sorttoggle = "desc"; } else {
$scope.sorttoggle = "asc"; }
if($scope.State == ""){
$http.get("http://stok.rjs.co.id/api/sort.php?order="+$scope.sorttoggle)
.success(function(Data) {$scope.Data=Data.users;
console.log($scope.Data)}); }
else if($scope.State == "search") {
$scope.search($scope.StateSearch); }
else if($scope.State == "filter"){
$scope.filter($scope.StateFilter); }
}
$scope.filter = function(filterquery){
console.log("searching");
$scope.filterquery = filterquery;
if($scope.filterquery == "-"){
$http.get("http://stok.rjs.co.id/api/index.php")
.success(function(Data) {$scope.Data=Data.users;
console.log($scope.Data)});
$scope.State = '';
} else {
$http.get("http://stok.rjs.co.id/api/supitem.php?filter="+$scope.filterquery+"&order="+$scope.sorttoggle)
.success(function(Data) {
$scope.Data = {};
$scope.Data=Data.users;
$scope.State = 'filter';
$scope.StateFilter =
$scope.filterquery;
console.log($scope.Data)});
$scope.refresh = function() {
console.log($scope.State);
if ($scope.State == "")
($http.get("http://stok.rjs.co.id/api/index.php")
.success(function(Data) {
$scope.Data=Data.users;
}))
else if ($scope.State == 'search')
{
$scope.search($scope.StateSearch); }
else if ($scope.State == "filter") {
$scope.filter($scope.StateFilter);
}};
```

Penggalan kode program diatas adalah kode program utama pada halaman utama sistem monitoring untuk menampilkan persediaan barang dengan perincian nama item, jumlah DUS, dan jumlah STP. Kode program juga berfungsi untuk menampilkan tombol-tombol seperti diagram, urutan, *about*, *refresh*, dan juga menampilkan filter pilih supplier dan *search*.



Gambar 11 Tampilan Halaman Diagram Aplikasi Mobile

Gambar 11 menjelaskan tampilan halaman diagram aplikasi mobile. Halaman ini akan muncul ketika pengguna menekan tombol diagram terdapat pada halaman aplikasi mobile.

Kode Program Halaman Diagram Sistem Monitoring

```
$scope.showchart = function() {
    $scope.labels = [];
    $scope.datas = [];
    $scope.y = [];
    for(var i = 0 ; i <
    $scope.Data.length; i++){
    $scope.labels.push($scope.Data[i].nama);
    $scope.y.push(Math.floor($scope.Data[i].jumlah/
    $scope.Data[i].isi));
    }
    $scope.datas.push($scope.y);
    $scope.series = ['Series A'];
    $scope.closechart = function() {
        $scope.chart.hide();
    }
}
```

Penggalan kode program diatas adalah kode program utama pada halaman diagram sistem monitoring untuk menampilkan persediaan barang dalam bentuk diagram.

5 Pengujian Dengan Data Sebenarnya

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui seberapa baik dan sesuai sistem yang dibuat. Pengujian sistem dilakukan dengan memasukkan data sebenarnya dari perusahaan distribusi. Data diinputkan pada sistem berbasis web yang mendukung aplikasi mobile untuk menampilkan data.

Tabel 1 Data Supplier dan Item Supplier : SUP002 – PT. Stanli Tri Jaya

Kode Item	Nama Item	STP
80201	PMS Bolu Lapis Pandan	8
80202	PMS Bolu Lapis Strawberry	8
80203	PMS Bolu Lapis Coklat	8
80204	PMS Pia Kacang Hitam	10

Tabel 2 Data Persediaan Barang Supplier : SUP002 – PT. Stanli Tri Jaya

Kode Item	Jumlah DUS	Jumlah STP
80201	300	1
80202	321	3
80203	306	5
80204	44	6

Tabel 3 Transaksi Item Keluar Supplier : SUP002 – PT. Stanli Tri Jaya

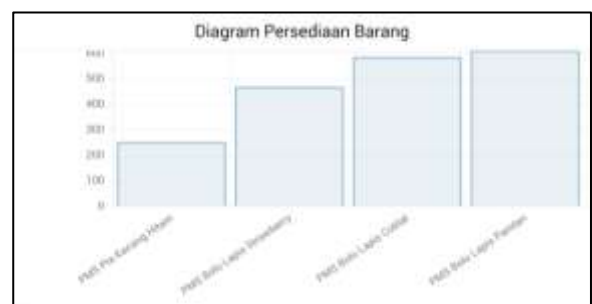
Kode Item	Jumlah DUS	Jumlah STP
80201	39	6
80202	31	7
80203	66	3
80204	2	5

Tabel 1, 2, dan 3 menjelaskan data yang diinputkan pada sistem berbasis web yang akan dimunculkan oleh sistem aplikasi mobile. Setelah data diinputkan, maka sistem aplikasi mobile akan menampilkan data persediaan barang, dalam bentuk list dan grafik.



Gambar 12 Sistem Aplikasi Menampilkan Data

Gambar 12 menjelaskan tampilan sistem aplikasi setelah data diinputkan. Dapat dilihat bahwa sistem aplikasi dapat menampilkan data sesuai dengan yang diinputkan.



Gambar 13 Sistem Aplikasi Menampilkan Diagram

Gambar 13 menjelaskan tampilan diagram sistem aplikasi setelah data diinputkan. Dapat dilihat

bahwa sistem aplikasi dapat menampilkan data persediaan barang sesuai dengan data yang ada.

6 Kesimpulan

Dari hasil analisis terhadap masalah dan aplikasi yang telah dikembangkan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Aplikasi *mobile* secara umum dapat memenuhi kebutuhan pada perusahaan distribusi.
2. Aplikasi *mobile* dapat menampilkan persediaan barang secara *online* dan *realtime* dengan tepat.
3. Fitur yang terdapat pada aplikasi *mobile* secara umum dapat digunakan dengan baik sehingga mampu meningkatkan efisiensi operasional.
4. Cara penggunaan aplikasi yang mudah dipahami dan tampilan aplikasi cukup menarik membuat pengguna awam mudah mengoperasikannya.
5. Proses transaksi barang masuk dan barang keluar menjadi bagian terpenting dari aplikasi *mobile* karena data yang ditampilkan oleh aplikasi adalah hasil dari kegiatan transaksi barang masuk dan keluar.

7 Daftar Pustaka

- [1] Avinash S, Anandkumar P, "To Study and Design a Cross-Platform Mobile Application for Student Information System using PhoneGap

Framework", www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 9, September 2013).

- [2] Weifeng S, Maofa W, "A Study on Educational Administration Inquire System based on Mobile Device", CSAE, 2012 IEEE International Conference, Volume 3: Page(s): 392- 395.
- [3] P. Douangboup, "SmartPhone Platform Comparison", Whitepaper Series, R2integrated, (2009).
- [4] Wen-Hann Wang, CV Vick, Christos Georgiopoulos, Jon Bork, "Cross-Platform Multi-Network Mobile Application Architecture"
- [5] Myer, Thomas, 2012. Beginning PhoneGap. Indianapolis : John Wiley & Sons, Inc.
- [6] <http://phonegap.com/about/feature/>
- [7] Manuel P, Inderjeet Singh, Antonio Cicchetti, "Comparison of Cross-Platform Mobile Development Tools" 2012 16th International Conference on Intelligence in Next Generation Networks.
- [8] <http://www.slideshare.net/drbaac/phonegap-day-ibm-phonegap-andthe-enterprise>.
- [9] Ariona, Rian, 2013. Belajar HTML & CSS "Tutorial Fundamental dalam Mempelajari HTML & CSS". diakses tanggal 13 Oktober 2015, <http://www.ariona.net/ebook-belajar-html-dan-css/>
- [10] Haverbeke, Marijn, 2014. Eloquent JavaScript, A Modern Introduction to Programming. Diakses tanggal 25 Oktober 2015, http://eloquentjavascript.net/Eloquent_JavaScript.p
- [11] Ravulavaru, Arvind, 2015. Learning Ionic. Birmingham, UK : Packt Publishing Ltd.

Penggunaan Scada dalam Sistim Distribusi Tenaga Listrik di Kilang Unit II Dumai

Silvana da Costa

sdcosta@pertamina.com

Abstrak

Kebutuhan akan pendayagunaan listrik yang efisien dan handal merupakan bagian yang sangat integral bagi kilang minyak untuk kontinuitas operasi kilang. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, di kilang pengolahan minyak Refinery Unit (RU) II Dumai dibuat sistem distribusi tenaga listrik yang saling terhubung (interkoneksi) antara seluruh pembangkit dengan media tenaga listrik. Pengaturan tenaga listrik pada sistem yang terinterkoneksi dilaksanakan oleh pusat pengatur sistem tenaga listrik. Kecepatan dan keakuratan data informasi sangatlah dibutuhkan pada pengaturan sistem tenaga listrik, sehingga pusat pengatur tenaga listrik dalam melaksanakan tugas pengaturan didukung oleh peralatan yang berbasis komputer untuk membantu operator dalam melaksanakan tugasnya. Sistem pengaturan yang berbasis komputer disebut *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) yang merupakan suatu sistem yang dapat memonitor dan mengontrol peralatan atau sistem distribusi tenaga listrik jarak jauh secara *real time*. SCADA terdiri dari perlengkapan peralatan *hardware* dan *software*.

Fungsi SCADA pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

SCADA berfungsi mulai dari pengambilan data pada peralatan pembangkit, pengolahan informasi yang diterima, sampai reaksi yang ditimbulkan dari hasil pengolahan informasi. Secara umum fungsi dari SCADA adalah:

- Penyampaian data
- Proses kegiatan dan monitoring
- Fungsi kontrol
- Penghitungan dan pelaporan

Dengan menggunakan SCADA penyampaian dan proses data dari sistem tenaga listrik akan lebih cepat termonitor oleh operator. Kontrol dan monitoring distribusi tenaga listrik memungkinkan penyampaian data ke/dari *remote* area. Pengumpulan data dapat dilakukan secara manual atau dapat juga dihitung dan disimpan dalam data base secara otomatis. Penyampaian dan proses data dilakukan secara *real-time* dengan parameter *real time operation* seperti frekuensi, tegangan, daya aktif dan daya reaktif, serta *tap changer position* yang dapat dikirimkan ke *control centre* atau pusat pengatur beban melalui sarana teleinformasi yang disebut *telemetering*.

Kata kunci : kehandalan, efisien, distribusi, monitor , control, remote, real-time

1 Pendahuluan

Sejak dioperasikan pada tahun 1971, kilang minyak RU-II Putri Tujuh Dumai dan Sungai Pakning telah memberikan sumbangan nyata terhadap perkembangan dan kemajuan daerah khususnya kota Dumai dan sekitarnya dan telah

memberikan andil yang besar bagi pemenuhan kebutuhan bahan bakar nasional. Kilang yang berkapasitas Berbagai produk bahan bakar Minyak (BBM) dan Non Bahan Bakar Minyak (NBBM) telah dihasilkan dan telah didistribusikan ke berbagai pelosok tanah air dan manca negara. Untuk memajukan Kilang Minyak Refinery Unit II Dumai dan Sungai Pakning menjadi Kilang Kebanggaan Nasional, program peningkatan kehandalan kilang melalui kehandalan distribusi tenaga listrik menjadi sangat penting.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, perlu diterapkan SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*) pada jaringan distribusi tenaga listrik. Sistem SCADA dapat memantau, mengendalikan, mengkonfigurasi dan mencatat kerja sistem distribusi listrik secara *real time* (setiap saat), serta mampu menangani gangguan yang bersifat permanen ataupun yang bersifat sementara/temporer dalam waktu yang singkat secara *remote* (jarak jauh) dari pusat control/master station.

2 Pengertian SCADA

SCADA adalah sistem pengaturan yang berbasis komputer yang dapat memonitor dan mengontrol peralatan atau sistem distribusi tenaga listrik jarak jauh secara *real time*, terdiri dari perlengkapan peralatan *hardware* dan *software*.

SCADA digunakan dalam :

1. proses industri: manufaktur, pabrik, produksi, generator tenaga listrik.
2. proses infrastruktur: penjernihan air minum dan distribusinya, pengolahan limbah, pipa gas dan minyak, **distribusi tenaga listrik**, sistem komunikasi yang kompleks, sistem peringatan dini dan sirine
3. proses fasilitas: gedung, bandara, pelabuhan, stasiun ruang angkasa.

Salah satu hal yang penting pada sistem SCADA adalah komunikasi data antara sistem remote (remote station / RTU) dengan pusat kendali/Master Station. Komunikasi pada sistem SCADA mempergunakan protokol khusus, walaupun ada juga protokol umum yang dipergunakan.

Protokol yang dipergunakan pada sistem SCADA untuk sistem tenaga listrik diantaranya :

1. IEC Standar meliputi IEC 60870-5-101 yang berbasis serial komunikasi dan IEC 60870-5-104 yang berbasis komunikasi ethernet.
2. DNP 3.0
3. Modbus
4. Proprietary solution, misalnya KIM LIPI, HNZ, INDACTIC, PROFIBUS dan lain-lain

Kegunaan SCADA

- Akuisisi data: penerimaan data dari peralatan di lapangan.
- Komunikasi data dilakukan dengan komputer front end di berbagai RTU dengan protokol. Beberapa jenis aktivitas akuisisi data, diantaranya permintaan operator, report periodically, report by exception, sinkronisasi RTU.
- Konversi data: pengubahan data telemetri ke format standar. Tipe-tipe konversi data: raw telemetered data, urutan kejadian, status telemetering, besaran analog.
- Pemrosesan data: menganalisa dan melaporkan data kepada operator. Beberapa sumber data: telemetri, hasil perhitungan, manual, host external. Kualitas data ditunjukkan oleh flag. Proses status point dan besaran analog.
- Supervisory control: pengendalian peralatan di lapangan, diantaranya buka-tutup pemutus daya atau generator, regulator tap-changer atau set-point, rekonfigurasi
- Tagging: pertukaran informasi tertentu pada peralatan tertentu.
- Pemrosesan alarm dan event: informasi bila ada perubahan dalam sistem
- Post mortem review: menentukan akibat pada sistem paska gangguan besar

Seluruh fungsi sistem SCADA yang telah dijelaskan, dapat dikelompokkan menjadi :

Telemetering: adalah proses pengambilan pengukuran tenaga listrik yang ada di Sub-Station/Electric Station untuk dapat dimonitor di Master Station di Control-Room.

Telesignaling: status dari peralatan tenaga listrik, sinyal alarm dan sinyal lainnya yang ditampilkan disebut status indikasi. Status indikasi terhubung ke modul digital input dari RTU. Status indikasi terdiri dari indikasi tunggal (single) dan indikasi ganda (double). Indikasi ganda terpasang pada peralatan yang mempunyai dua keadaan, dimana satu keadaan menunjukkan kontak terbuka (open)

dan keadaan lain menunjukkan kontak tertutup (close), seperti pada PMT (pemutus tenaga).

Indikasi tunggal dipergunakan untuk menyampaikan data alarm dari peralatan tenaga listrik. Status indikasi dikirim ke pusat pengatur beban atau Master Station bila terjadi perubahan status dari peralatan.

Telecontrol : fungsi kontrol sistem tenaga listrik terbagi menjadi 4 bagian, yaitu kontrol individu, kontrol perintah untuk pengaturan peralatan, pola kontrol otomatis dan pola kontrol berurutan. Kontrol individu merupakan perintah langsung peralatan sistem tenaga listrik, seperti perintah buka/tutup PMT, dan perintah start/stop unit pembangkit. Sedangkan kontrol perintah untuk pengaturan peralatan merupakan fungsi kontrol yang berhubungan dengan pusat pembangkit untuk menaikkan atau menurunkan daya pembangkitan. Kontrol otomatis adalah perintah kontrol dari substation automation misalnya untuk load shading. Kontrol berurutan adalah kontrol otomatis dengan menggunakan aplikasi Distribusi Management System (DMS)

Komponen Utama SCADA

Sistem SCADA memiliki 3 buah komponen utama, yaitu:

Pusat Kontrol, RTU yang ada di lokasi SubStation/Electric Station dan jalur komunikasi yang menghubungkan Pusat Kontrol dan RTU.

Master Station/Pusat Kontrol

Master Station/pusat kontrol merupakan pusat dari sistem SCADA, karena semua fungsi pengawasan, pengendalian terhadap data dan sumber data di RTU dilakukan dari sini. Pusat kontrol terdiri dari perangkat keras yang berupa komputer digital (computer, printer, Monitor Peta Dinding Besar dan Card Digital to Analog) serta perangkat lunak yang berfungsi untuk melakukan komunikasi dengan RTU.

Remote Terminal Unit (RTU)

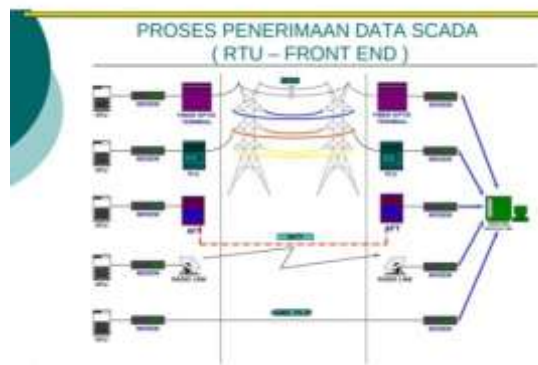
Remote terminal unit (RTU) adalah salah satu komponen peralatan SCADA yang didesain untuk memonitor aktivitas substation pada suatu sistem tenaga listrik. Informasi dasar tentang sistem tenaga listrik diperoleh dari pemantauan status peralatan dan pengukuran besaran listrik pada gardu induk maupun pembangkit listrik. Informasi tersebut kemudian diproses oleh RTU untuk kemudian dikirim ke Master Station/Control Center. Sebaliknya, Master Station/Control Center pun dapat mengirim perintah ke RTU. Proses ini, sebagaimana disinggung pada bagian sebelumnya, disebut

teleinformasi (terdiri dari telesignal, telecontrol dan telemetering).

Peralatan penghubung Komunikasi SCADA

Agar supaya Master Station dapat berhubungan dengan Remote Terminal unit maka diperlukan sarana telekomunikasi data atau sering disebut data link, pada SCADA pada umumnya terdiri dari:

1. Kabel Pilot
Kabel Pilot adalah kabel tembaga yang sering disebut Areal Kabel yang dapat berupa kabel udara maupun kabel tanah. Dalam satu kabel ini terdiri dari minimal 10 pair sampai ratusan pair. Jarak kabel pilot paling panjang dapat dipergunakan tanpa tambahan penguatan di tengah adalah 10 Km dengan penampang kabel 0,6 mm. Jika lebih dari 10 Km maka diperlukan penguat atau disebut amplifier.
2. Radio data
Pengiriman data dari RTU ke Master station dapat pula melalui radio data. Radio data ini dapat beroperasi pada frekuensi VHF atau UHF. Untuk kecepatan pengiriman data yang rendah biasanya dipakai frekuensi VHF sedangkan untuk pengirimannya data dengan kecepatan tinggi dipergunakan frekuensi UHF. Untuk penggunaan frekuensi UHF sangat dipengaruhi dengan propogasi dan kondisi LOS bidang pancaran sehingga untuk daerah yang countour tanahnya berbukit bukit diperlukan beberapa repeater.
3. PLC
Selain radio dan kabel pilot sarana telekomunikasi data yang lain adalah PLC (Power line carrier). PLC dipasang di Electric Station/Sub-Station. Jadi antar Electric Station/Sub-Station komunikasi data bisa menggunakan PLC. Pada SCADA biasanya dipergunakan sarana FO atau Kabel pilot dari Master Station ke Electric Station/SS.
4. Fiber Optik
Sarana yang paling handal adalah fiber optic. Dengan fiber optic kecepatan transmisi data bisa dilakukan dengan sangat cepat dan dengan frekuensi data yang sangat tinggi sehingga data dapat dikirim ke Master Station dengan banyak dan cepat dari Electric Station/SS ke Master Station.



Gambar 1 : Proses penerimaan data SCADA

3 Indeks Keandalan Komponen Sistem Distribusi

Keandalan menjadi salah satu pertimbangan dalam tahap disain sebuah sistem. Penilaian keandalan setelah sistem dibuat akan sangat tidak ekonomis. Dalam melakukan design SCADA, perlu dilakukan perhitungan keandalan sistem tenaga existing. Hal ini diperlukan untuk memberikan justifikasi perlu/tidak implementasi SCADA. Juga setelah penggunaan SCADA, perlu dilakukan evaluasi keandalan sistem distribusi listrik untuk memonitor efektivitas bekerjanya sistem SCADA dengan menggunakan software ETAP.

Indeks keandalan merupakan suatu indicator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks sudah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan sistem tenaga. Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks titik beban dan indeks keandalan sistem distribusi yang merupakan komponen yang dipakai pada jaringan.

Untuk memperoleh pengertian yang mendalam kedalam keseluruhan capaian angka keandalan dilakukan perbandingan antara indeks keandalan komponen dan indeks keandalan titik beban dapat dihitung persamaan-persamaan keandalan untuk menghitung indeks keandalan komponen yang meliputi angka keluar (outage number).

Konsep Dasar Keandalan

Dalam membicarakan keandalan, terlebih dahulu harus diketahui kesalahan atau gangguan yang menyebabkan kegagalan peralatan untuk bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan.

Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan merupakan kemungkinan kelangsungan pelayanan beban dengan kualitas pelayanan listrik yang baik untuk suatu periode tertentu dengan kondisi operasi yang sesuai. Dan keandalan merupakan salah satu syarat yang tidak boleh diabaikan dalam sistem tenaga listrik.

Keandalan sistem tenaga listrik sangat tergantung pada keandalan peralatan pendukung sistem, proses alamiah dari peralatan serta kesalahan dalam mengoperasikan peralatan tersebut. Ada beberapa definisi kegagalan yang sering dipakai adalah :

1. - Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 1$ cycle
2. - Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 10$ cycle
3. - Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 5$ detik
4. - Bila kehilangan daya sama sekali selama $t > 2$ menit

Berdasarkan indeks-indeks keandalan dasar ini, didapat sejumlah indeks keandalan untuk sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi dan bisa didapatkan lengkap mengenai kinerja sistem. Indeks-indeks ini adalah frekwensi atau lama pemadaman rata-rata tahunan. Indeks keandalan yang sering dipakai pada sistem distribusi antara lain :

System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per sub-station/electric station yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya pertahun). Indeks ini ditentukan dengan membagi jumlah semua kegagalan-pelanggan dalam satu tahun dengan electric station/ss. Persamaan untuk SAIFI (rata-rata jumlah gangguan electric station/ss) ini dapat dilihat pada persamaan dibawah ini :

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k M_k}{\sum M} \quad (1)$$

Keterangan :

λ_k = angka keluar (outage rate) , kali padam/fail pada electric station/ss

M_k = jumlah electric station/ss ada load point k yang mengalami padam

M = total electric station/ss pada sistem distribusi yang dilayani

System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

Indeks ini didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap electric station/ss selama satu tahun. Indeks ini ditentukan dengan pembagian jumlah dari lamanya kegagalan secara rata-rata untuk tiap sub-station selama periode waktu yang telah ditentukan dengan jumlah electric station/ss selama tahun. Persamaan untuk SAIDI (rata-rata jangka waktu gangguan setiap sub-station) ini dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$SAIDI = \frac{\sum U_k M_k}{\sum M} \quad (2)$$

Keterangan:

U_k = waktu padam (duration) yang dialami electric station/ss

M_k = jumlah electric station/ss pada load point k yang mengalami padam

M = total electric station/ss pada sistem distribusi yang dilayani

Reability Economics

Seperti yang telah disampaikan diawal keandalan sangat terkait dengan biaya dan faktor-faktor ekonomi lainnya. Sistem akan menjadi lebih andal jika komponen-komponen kritis pada sistem diberi redundansi. Namun ini secara langsung akan menyebabkan biaya investasi sistem, biaya pemeliharaan serta biaya operasinya juga menjadi mahal. Komponen pada sistem dengan tingkat keandalan yang baik akan lebih mahal dibandingkan dengan komponen sejenis yang memiliki tingkat keandalan dibawahnya. Namun, komponen dengan tingkat keandalan yang baik tentunya diharapkan lebih lama waktu operasinya atau lebih jarang gagal sehingga biaya perawatannya atau biaya downtime serta biaya yang muncul akibat sistem tidak beroperasi akan menjadi lebih rendah.

4 Evaluasi Penggunaan SCADA di RU II Dumai dan .Pakning

Evaluasi akurasi penggunaan SCADA didasarkan pada survey, identifikasi data lapangan dibandingkan dengan data hasil SCADA. Dari data verifikasi, maka batasan error yang dapat diterima oleh Pertamina adalah $< 3\%$. Hasil evaluasi pada lampiran 4 (kilang Dumai) dan lampiran 5 (kilang S.Pakning)

Penentuan tingkat akurasi data dan pemodelan untuk kilang Dumai dan Sei Pakning dilakukan

dengan membandingkan data hasil simulasi kondisi load flow terhadap data kondisi eksisting yang diperoleh dari System SCADA Power Plant (untuk Kilang Dumai) dan data Operasi Gas Turbin Unit 900-06-GE.10 Utilities Pertamina RUII Sei Pakning. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software ETAP.

Dengan tingkat kesalahan hasil simulasi 2.87% (Kilang Dumai) dan 2.2% (Kilang Sei Pakning) atau <3%), maka pemodelan dan hasil simulasi kondisi eksisting (basecase) di kedua kilang dianggap sudah mewakili kondisi operasi yang sebenarnya.

5 Kesimpulan dan Saran

1. Dengan diterapkannya integrasi sistem SCADA pada jaringan distribusi tenaga listrik dapat diperoleh kualitas distribusi yang lebih baik (efektif dan efisien) kepada electric station/ss, dan bisa meminimalisir terjadinya kerugian finansial akibat keandalan sistem yang rentan gangguan.
2. Pemeliharaan jaringan secara rutin terjadwal dan evaluasi kerja sistem melalui data-data harian yang ada, baik data gangguan maupun data pembacaan metering dari peralatan sistem juga membantu meningkatkan keandalan pada jaringan distribusi tenaga listrik.
3. Sistem SCADA memberikan kemudahan kepada operator dalam melakukan monitoring dan kontrol jaringan tenaga listrik. Dengan adanya Sistem SCADA,

operator dapat dengan mudah, efektif dan efisien melakukan tugas dan kewajibannya dalam melakukan monitoring dan kontrol jaringan tenaga listrik.

4. Data yang tersedia pada system SCADA seharusnya dapat ditampilkan baik dalam Ampere maupun kW, tetapi pada saat survey ditemukan tampilan data system SCADA lebih banyak tersedia dalam Ampere, sedangkan tampilan dalam kW banyak yang tidak menggambarkan kondisi di lapangan, ataupun dalam kondisi tidak beroperasi (error tampilan dengan symbol #COM). Sehubungan dengan hal tersebut, perlu untuk melakukan review terhadap tampilan system monitoring SCADA, khususnya ES#3, ES#4, ES#5 dan ES#6, dan melengkapi system monitoring disisi 0.380 kV.
5. Perlu penggunaan ETAP on-line untuk memonitoring data kondisi pembangkitan dan pembebanan baik pada kondisi normal maupun gangguan.

6 Daftar Pustaka

- [1] R.I. Williams, *Handbook of SCADA System for Oil and Gas Industry*, 1st Edition, Elsevier Advanced Technology, 1992.
- [2] Ronald L.Krutz, *Securing SCADA Systems*, Wiley Publishing, 2006
- [3] www.wikipedia.com
- [4] Kelompok Bidang SCADA, *Standar Perencanaan dan Pembangunan Sistem SCADA*, PLN, 2008
- [5] Pertamina RUII Dumai, *Audit of Overall Electrical Protection System*, RUII Dumai, 2012

Sistem Kendali PID pada Pengendalian Suhu untuk Kestabilan Proses Pemanasan Minuman Sari Jagung

1Bambang Sampurno*), 2Arief Abdurrahman & 2Herry Sufyan Hadi

1Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

2Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

bsampurno1965@gmail.com), *2ariefabdurrahman@gmail.com*, *2sh_herry@yahoo.co.id*

Abstrak

Permasalahan utama dari proses pembuatan minuman sari jagung yang ada di UD Samara Mart Surabaya adalah tidak tepatnya suhu dan lamapemanasan yang diinginkan. Pada proses perebusan biji jagung (pemanasan pertama) seharusnya suhu uap air didalam tangki dipertahankan 110 °C selama 2 (dua) jam, sedangkan pada proses perebusan sari jagung (pemanasan kedua) seharusnya suhu uap air dipertahankan 100 °C dengan waktu 1 jam. Kondisi ini seringkali tidak terjadi karena proses pengamatan dan pengaturan suhu dilakukan secara manual. Pada gilirannya produktifitas minuman sari jagung UD Samara Mart masih rendah (130 botol/hari). Oleh karena itu diperlukan sistem otomasi pada proses pemanasan sari jagung agar mampu memperoleh suhu yang diinginkan dalam jangka waktu yang tepat. Penelitian diawali dengan pemodelan perpindahan panas yang terjadi pada proses pemanasan, dimana model tersebut menjadi acuan dalam melakukan simulasi. Simulasi komputer dilakukan dengan memvariasikan aliran panas pada tangki untuk mode kontroler yang tepat dengan indikator respon temperatur. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh besarnya $K_p=3,199$, $K_i=1,4296$, dan $K_d=0,0019$, dimana besarnya panas yang dibutuhkan rata-rata sebesar 3.768,25 W untuk pemanasan pertama, dan sebesar 3.748,41 W untuk pemanasan kedua. Sedangkan besarnya rise time selama 850 detik, overshoot sebesar 7,33% dan settling timenya sebesar 2000 detik. Sedangkan secara eksperimen menunjukkan besarnya rise time 853 detik overshoot 8%, settling time 2000 detik.

Kata kunci: minuman sari jagung, rasa, pemanasan, otomasi dan suhu

1 Pendahuluan

Saat ini telah banyak proses pembuatan minuman siap saji yang bahan bakunya dari tanaman, seperti sari kedelai, sari kunyit, sari jahe, sari tebu, sari jagung, sari lidah buaya, dan lain sebagainya. Beberapa minuman tersebut merupakan jenis pangan atau produk pangan yang memiliki ciri-ciri fungsional sehingga berperan dalam perlindungan atau pencegahan, pengobatan terhadap penyakit, peningkatan kinerja fungsi tubuh optimal, dan memperlambat proses penuaan (Sampoerno, et al.) [1]. Menurut Goldberg [2], dasar pertimbangan konsumen di negara-negara maju dalam memilih bahan pangan bukan hanya bertumpu pada

kandungan gizi serta kelezatannya, tetapi juga pengaruhnya terhadap kesehatan tubuh. Fenomena tersebut melahirkan konsep pangan fungsional. Beberapa fungsi tersebut menjadikan minuman dari sari tanaman banyak diminati oleh sebagian besar masyarakat, khususnya di Indonesia, sehingga permintaan terhadap produk ini cenderung meningkat. Namun permintaan yang meningkat tersebut masih belum diiringi dengan peningkatan kualitas proses produksi yang masih konvensional, sehingga menyebabkan rantai pasokan minuman dari sari tanaman ini terganggu karena laju produksi yang cenderung konstan.

Salah satu proses produksi yang masih bersifat konvensional adalah produksi minuman siap saji dari sari jagung. Adapun studi kasus dalam penelitian ini adalah produsen minuman sari jagung di Surabaya dengan kapasitas produksi yang dicapai saat ini adalah 130 botol/hari. Pada sisi yang lain, permintaan saat ini sudah mencapai diatas 500 botol/hari. Sehingga laju produksi sudah tidak mampu lagi memenuhi permintaan konsumen, sehingga diperlakukan upaya optimasi pada proses produksi minuman sari jagung pada produsen ini.

Proses pembuatan produk minuman sari jagung diawali dengan mengupas klobot jagung secara manual, kemudian proses kedua yaitu pemipilan jagung dengan menggunakan pisau potong. Selanjutnya proses yang ketiga, biji jagung yang sudah dipipil kemudian direbus di tangki (dandang) dengan menggunakan uap air yang dipanaskan (dikukus) dimana sumber panas yang digunakan adalah kompor gas *high pressure* sebagaimana gambar 1.3. Berdasarkan pengalaman pekerja pada bagian proses produksi, untuk kapasitas 12 kg jagung pipilan pada tangki yang berukuran diameter 50 cm dan tinggi 30 cm dibutuhkan uap air yang memiliki suhu 110°C dalam waktu 2 jam. Namun **ketepatan** suhu dan **lama pemanasan** seringkali tidak terjadi karena tidak ada indikator temperatur pada tangki dan tidak dilakukan pengaturan tekanan LPG pada kompor *high pressure* agar panas yang diberikan stabil.

Proses yang keempat adalah penggilingan jagung yang sudah direbus, dan proses yang kelima adalah pencampuran hasil gilingan jagung dengan air,

gula dan daun pandan untuk memperoleh minuman yang bernuansa jagung dengan tingkat kemanisan yang optimal dilengkapi aroma pandan.

Pada 5 proses tersebut, salah satu proses yang dapat dilakukan optimasi adalah proses yang ketiga, yaitu pemanasan. Fase ini merupakan proses utama yang menentukan kualitas minuman sari jagung. Sehingga diperlukan alat otomasi pada proses pemanasan di tangki agar suhu dan lama pemanasan sesuai dengan kebutuhan proses.

Adapun beberapa penelitian tentang sistem kontrol temperatur pernah dilakukan oleh Setiawan A, et al [3]. Penelitian yang dilakukan adalah mendisain alat alat sistem kontrol suhu dan kelembaban untuk optimasi proses pembuatan tempe pada skala industri rumah tangga. Desain alat ini terdiri dari rangkaian power supply, rangkaian sensor, dan minimum system dari mikrokontroler ATmega16. Power supply berfungsi untuk memberikan tegangan yang dibutuhkan pada masing-masing rangkaian tersebut. Mikrokontroler ATmega16 sebagai pusat pengaturan pada rangkaian sensor, dan rangkaian aktuator. Sistem kontrol yang digunakan pada desain ini adalah *on-off*. sistem kontrol ini diaplikasikan pada proses optimasi pembuatan tempe sebagai pengendali suhu dan kelembaban dengan kondisi awal yang sudah di setting nilai suhu dan kelembaban pada programnya. Mikrokontroler ini juga bertindak sebagai eksekutor untuk menggerakkan aktuator. Pengendalian temperatur yang lain juga pernah dilakukan oleh Bayusari I, et.al [4]. Penelitian ini membahas tentang perancangan sistem pemantauan pengendali suhu pada sistem stirred tank heater yang mempunyai peranan penting dalam proses industri. Pemantauan sistem kendali suhu pada stirred tank heater ini dirancang menggunakan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) yang berfungsi memantau jalannya sistem. Sedangkan aktuator yang akan dikendalikan adalah posisi bukaan burner sehingga besarnya panas akan dapat diatur guna memenuhi set-point yang telah ditentukan. Pengendali suhu yang juga digunakan sebagai Remote Terminal Unit (RTU) adalah Programmable Logic Controller (PLC). Hasil pengujian yang tertera pada tampilan sistem SCADA diperoleh bahwa persentase error rata-rata untuk data pengujian set-point adalah 0.76687% serta persentase error untuk data suhu adalah 0.082%.

Berdasarkan pada beberapa kajian diatas, maka pada penelitian ini dibuat sistem pemanasan larutan sari jagung dengan menggunakan komponen utama yang digunakan untuk menjaga kondisi tersebut berupa **sensor suhu** sebagai indikator sekaligus elemen umpan balik, **kontroler**

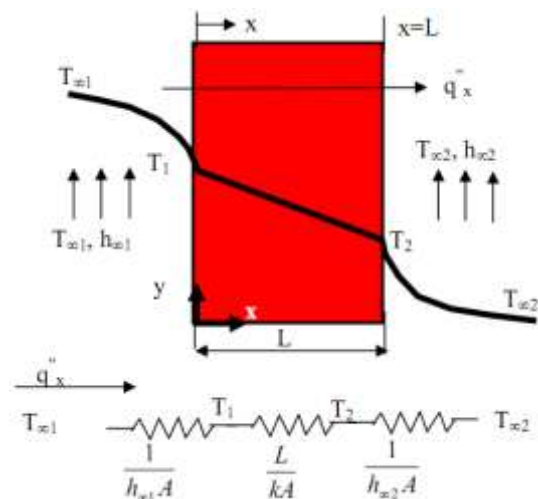
PID sebagai pembanding sekaligus penentuul sinyal kontrol pengatur elemen pengendali serta **aktuator** berupa control valve sebagai elemen pengendali tekanan kompor gas untuk mengatur variasi panas yang diberikan kapada tangki.

2 Diskusi

Adapun teori yang akan dibahas pada tulisan ini yaitu teori tentang perpindahan panas secara konduksi, konveksi dan kontrol PID.

2.1 Teori Perpindahan Panas

Konduksi satu dimensi pada dinding datar, distribusi temperatur hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu x, sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah sumbu x saja.



Gambar 1 Perpindahan panas pada dinding datar

Pada gambar diatas terlihat panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.

Konduksi satu dimensi ke arah sumbu X saja (Gambar 2):

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

$$q_x \int_{x_1}^{x_2} dx = -kA \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$q_x = -\frac{kA}{L}(T_2 - T_1) \quad (1)$$

Dimana: q_x = besarnya perpindahan kalor secara konduksi(W)

K = koefisien konduksi (W/m.K)

A = Luas Penampang (m^2)

L = Panjang dinding datar (m)

T_1 = Temperatur 1 (K)

T_2 = Temperatur 2 (K)

Pada kasus ini, pemanasan pertama (pemasakan) sari jagung kormil di dalam dandang dikondisikan selalu dalam temperatur yg konstan $T_{\infty 1} = 110$ °C selama 2 jam dan pemanasan kedua sebesar $T_{\infty 2} = 100$ °C selama 1 jam. Untuk kasus perpindahan kalor pada dandang ini diasumsikan sama dengan Gambar 2. Sehingga perpindahan panas seperti tersebut diatas peristiwa difusi panas dianalogikan dengan aliran arus listrik dan hambatan listrik dianalogikan dengan hambatan perpindahan panas, serta beda potensial dianalogikan dengan beda temperatur.

$$R_{kond} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{L}{K} \quad (2)$$

Sebaliknya laju perpindahan panas dapat ditulis:

$$q_{kond} = \frac{\Delta T}{R_{kond}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{kond}} \quad (3)$$

R_{kond} disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama jika diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat hambatan perpindahan panas konveksi R_{konv} :

$$q = hA(T_s - T_{\infty}) \quad (4)$$

$$R_{konv} = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{hA} \quad (5)$$

Dimana: h = koefisien konveksi (W/ m^2 .K)

Dan laju perpindahan panas konveksi ditulis:

$$q_{konv} = \frac{\Delta T}{R_{konv}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{konv}} \quad (6)$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, maka:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{KA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} \quad (7)$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperatur total:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{tot}} = \frac{\Delta T}{R_{tot}} \quad (8)$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{KA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A} \quad (9)$$

R_{tot} disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (overall heat transfer resistant).

Persamaan (9) dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu:

$$q_x = UA\Delta T$$

$$UA = \frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{KA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{KA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A}} \quad (10)$$

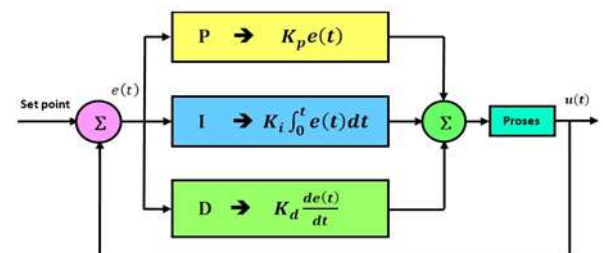
U disebut koefisien perpindahan panas keseluruhan.

2.2 Teori Kontrol

Ada beberapa macam sistem kendali yang bisa kita gunakan untuk mengontrol beberapa sistem yang kita inginkan. Berikut akan dijelaskan beberapa macam sistem kendali yang biasa digunakan.

Kendali PID

Sistem kendali PID merupakan sistem kendali *loop* tertutup yang cukup sederhana dan memiliki performa yang bagus. Namun kendali ini tidak dapat bekerja dengan baik apabila terjadi ketidakpastian dan ketidaklinieran pada sistem.



Gambar 2. Diagram blok sistem kendali PID

Sistem kendali PID terdiri dari tiga macam kendali, yaitu kendali P (Proportional), D (Derivatif) dan I (Integral), dengan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Tujuan penggabungan ketiga jenis kendali tersebut adalah untuk menutupi kekurangan dan menonjolkan kelebihan dari masing-masing jenis kendali. Dalam perancangan sistem kendali PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter K_p , K_i , dan K_d agar respon sinyal keluaran sistem terhadap masukan memiliki harga tertentu sebagaimana

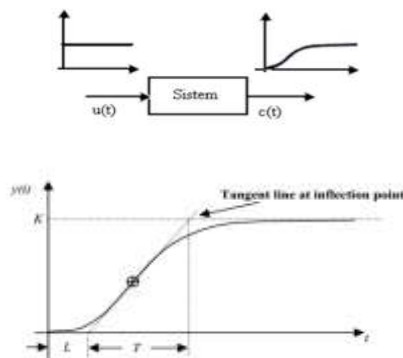
yang diinginkan. Dalam penelitian ini PID controller akan didesain dengan menggunakan metode tuning Ziegler – Nichols.

Tuning PID

Permasalahan terbesar dalam desain kontroler PID adalah menentukan nilai K_p , K_i dan K_d . Metode-metode tuning dilakukan berdasarkan metode matematika *system/plant*. Jika model matematika tidak diketahui maka dilakukan dengan eksperimen terhadap sistem. Cara menentukan tuning PID juga bisa berdasarkan metode tuning Ziegler-Nichols. Metode ini bertujuan untuk pencapaian maximum overshoot (MO): 25 % terhadap masukan step.

Metode Pertama Ziegler- Nichols

Metode pertama diterapkan pada plant dengan step respons dari bentuk yang ditunjukkan dalam Gambar 6, jenis respon ini adalah khusus berlaku untuk sistem orde pertama dengan transportasi delay. Jika sistem tidak mencakup integrator ataupun nilai-nilai kutup pasangan kompleks yang dominan, maka kurva respon sebuah tangga satuan kelihatan seperti kurva berbentuk – S, (jika respon tidak memiliki kurva berbentuk – S, maka metode ini tidak berlaku). Kurva-kurva respon tangga sedemikian dapat dihasilkan secara eksperimen atau dari simulasi dinamik sistem.



Gambar 3. Kurva respon untuk metode Ziegler – Nichols orde pertama

Karakteristik respon diberikan oleh dua parameter, L adalah sebagai time delay dan T merupakan Time constant. Ini didapatkan dengan mengambarkan garis singgung pada titik perubahan kurva berbentuk S dan menentukan perpotongan garis singgung dengan sumbu waktu dan garis $c(t) = K$, seperti diperlihatkan pada Gambar 3. $C(s)/u(s)$ dapat didekati dengan sistem orde pertama dengan keterlambatan transport.

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{K_e^{-Ls}}{Ts + 1} \quad (11)$$

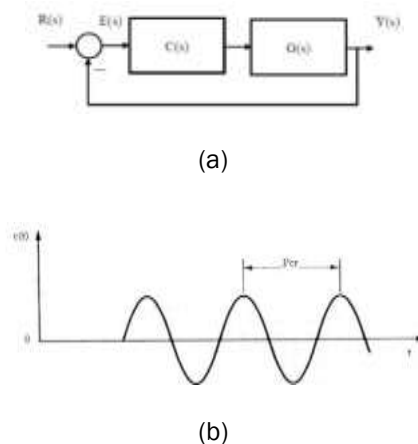
Ziegler – Nichols menyarankan pengaturan nilai K_p , T_i dan T_d berdasarkan rumus yang diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Aturan peyepadanan Ziegler – Nichols orde pertama.

PID Type	K_p	$T_i = K_p/K_i$	$T_d = K_p/K_d$
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Metode kedua

Dalam metode kedua, mula-mula kita mengatur $T_i = \infty$ dan $T_d = 0$. Dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional (Gambar 4a), menambahkan K_p dari 0 kesuatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan (jika kelauran tidak memiliki osilasi yang berkesinambungan untuk nilai K_p) maka metode ini tidak berlaku. Jadi penguatan kritis K_{cr} periode kritis P_{cr} yang sesuai ditentukan secara eksperimen (Gambar 7b).



Gambar 4. (a) Sistem loop tertutup dengan alat kontrol proporsional, (b) Osilasi berkesinambungan dari periode P_{cr} .

Ziegler – Nichols menyarankan pengaturan parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumusan yang diperlihatkan pada Tabel 2. Berdasarkan tabel 2.3 nilai K_p , K_d , dan K_i dapat ditentukan dan nilai dari P_{cr} bisa ditentukan dengan persamaan:

$$P_{cr} = 2\pi/\omega$$

Dimana ω adalah frekwensi osilasi yang didapatkan dari persamaan Routh-Hurwitz stability criteria.

Tabel 2 Aturan Pengaturan Ziegler–Nichols orde 2.

PID Type	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$\frac{P_{cr}}{1.2}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$\frac{P_{cr}}{2}$	$\frac{P_{cr}}{8}$

2.3 Metodologi Penelitian

Pada bagian ini akan dibahas lebih jauh tentang serangkaian peralatan yang digunakan pada penelitian. Metode yang digunakan adalah dua, yaitu pengendalian suhu secara simulasi menggunakan *software Matlab-Simulink* dan Metode menggunakan serangkain Eksperiment untuk mendapatkan hasil yang nyata untuk penyelesaian dari permasalahan pada bagian pendahuluan.

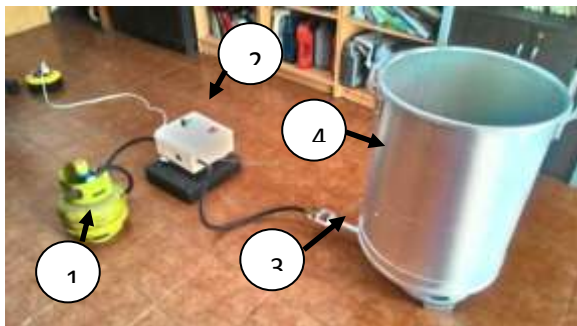
Metode Simulasi

Adapun langkah-langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan sistem perpindahan panas pada tangki.
2. Menentukan perpindahan panas yang terjadi pada tangki
3. Membuat model matematis dari perpindahan panas yang terjadi
4. Menentukan besarnya parameter dari model.
5. Menambahkan kontroller PID
6. Menentukan besarnya nilai K_p , K_i , dan K_d
7. Membahas hasil yang didapatkan dari simulasi

Metode Eksperimen

Tujuan dari eksperiment ini adalah untuk mendapatkan kotroller yang sesuai untuk mengendalikan besarnya suhu pemanasan. Adapun hasil *Assembly* peralatan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Serangkaian *assembly* Eksperimen

Keterangan Gambar:

1. Elpiji sebagai bahan bakar
2. Kontroller
3. Kompor gas high pressure
4. Tangki/ dandang

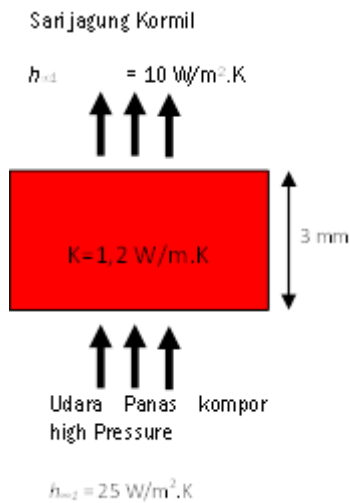
Gambar 5. merupakan hasil perncangan dari eksperimen. Peralatan yang digunakan adalah sebuah gas elpiji melon (3kg), kontroller PID, dan sebuah tangki pemanas untuk memanaskan minuman sari jagung. Adapun sistem kontroller yang digunakan untuk mengendalikan besarnya suhu supaya konstan adalah sebagai berikut:

1. Sensor suhu (Thermocouple) digunakan sebagai alat untuk mengetahui besarnya suhu dari minuman.
2. Selenoid berfungsi untuk memutuskan atau menyalurkan aliran gas elpiji.
3. Ketika suhu masih belum tercapai, maka aliran elpiji akan besar dan nyala api besar.
4. Ketika suhu tercapai sesuai dengan yang diset, maka aliran elpiji akan direduksi oleh solenoid dan nyala api kompor menjadi kecil.
5. Ketika nyala api kecil, suhu otomatis akan turun, dan kompor akan menyala lagi untuk menjaga agar suhu dari pemanasan bisa terkendali.

2.4 Hasil dan Pembahasan

Hasil Perhitungan dan Simulasi

Pada bagian ini akan dibahas tentang hasil simulasi pengendalian temperature menggunakan kontroller PID. Sebelum membahas lebih jauh tentang pengendalian temperature menggunakan PID, akan dibahas tentang perpindahan panas yang ada pada dandang. Pada bagian ini digunakan persamaan perpindahan panas untuk mendapatkan besarnya perpindahan panas yang terjadi pada tangki [7].



$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}} + \frac{L}{K} + \frac{1}{h_{\infty 2}}} = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,003}{1,2} + \frac{1}{10}} = 7,018 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \times 0,3^2 = 0,2826 \text{ m}^2$$

$$q = U \cdot A \cdot (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})$$

Sehingga besarnya perpindahan panas yang terjadi:

$$q_1 = 7,018 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,2826 \text{ m}^2 \cdot (2273 - 373)\text{K} \\ = 3.768,25 \text{ W}$$

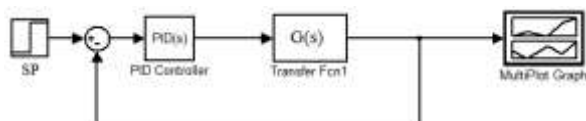
dan besarnya pemanasan kedua:

$$q_2 = 7,018 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 0,2826 \text{ m}^2 \cdot (2273 - 383)\text{K} \\ = 3.748,41 \text{ W}$$

Dengan input berupa bukaan selang elpiji (massa gas yang terbakar), maka diperoleh data massa jenis ($\rho = 536 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$), rapat jenis ($R = 49,6 \text{ MJ/kg}$), dan diameter tangki pemanas ($d = 50 \text{ cm}$), kontrol valve $= \frac{1}{0,2 s + 1}$, Transmitter $= \frac{1}{0,05 s + 1}$, maka diperoleh:

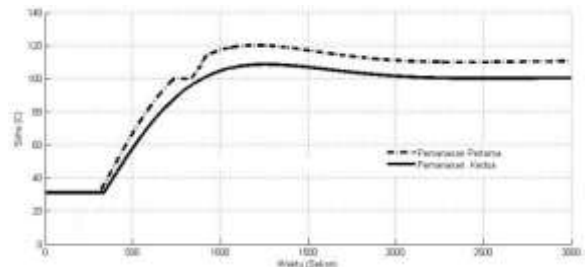
$$G_1(s) = \frac{-90758,4 s + 2000}{0,12 s^3 + 3 s^2 + 12 s} \quad (12)$$

$$G_2(s) = \frac{-90758,4 s + 1868,8}{0,12 s^3 + 3 s^2 + 12 s} \quad (13)$$



Gambar 11. Blok diagram suhu pemanasan kedua dengan PID controller

Gambar 11 merupakan blok diagram *Matlab-Simulink* dengan controller PID dimana nilai $K_p=3,199$, $K_i=1,4296$, dan $K_d=0,0019$. Nilai ini diperoleh dengan cara auto tuning untuk memudahkan dalam mendapatkan nilainya.

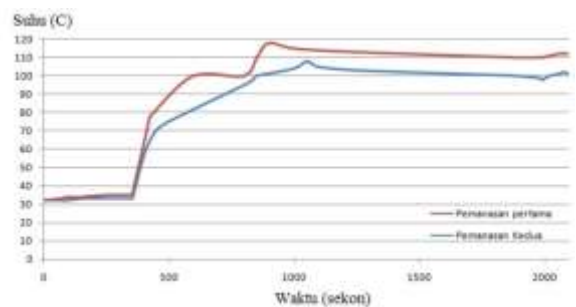


Gambar 12. Respon suhu pemanasan kedua dengan PID controller

Berdasarkan Gambar 12 dapat diketahui keluaran sistem untuk mencapai setpoint memiliki error sistem nol, ini berarti nilai actual dengan nilai yang di inginkan dapat dicapai tanpa adanya penyimpangan. Pada pemanasan pertama dan kedua diperoleh nilai yang sama bahwa besarnya rise time sebesar 850 detik, over shoot sebesar 7,33% dan settling time yang dicapai sistem adalah 2000 detik. Namun ada perbedaan akibat viskositas fluida yang berbeda. Pada pemanasan pertama terlihat bahwa suhu cenderung konstan pada suhu 100°C. Hal ini terjadi karena pada keadaan ini, air mengalami perubahan fase dari cair menjadi gas. Berbeda halnya dengan pemanasan ke dua karena pada pemanasan kedua, fluida yang dipanaskan berupa campuran antara air dan sari jagung.

Hasil Eksperimen

Analisa hasil eksperimen dilakukan pada dua kali pemanasan yaitu pemanasan pertama dan pemanasan ke dua. Adapun pengambilan data diperoleh dengan cara mencatat besarnya perubahan suhu berdasarkan variasi waktu. Setelah itu, hasil dari pengambilan data ini di gambarkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Pengendalian suhu secara eksperimen

Dari Gambar 13 terlihat bahwa besarnya rise time sebesar 853 sekon, settling time sebesar 2000 sekon, overshoot sebesar 8% dan. Dari gambar 13 juga terlihat bahwa besarnya fluktuasi berbeda. Hal ini terjadi karena pada pemanasan pertama, fluida yang dipakai adalah air murni yang dipanaskan hingga pada suhu 110° C. sedangkan pada pemanasan kedua, fluida yang dipanaskan berupa campuran antara air dan sari jagung sehingga besarnya viskositasnya menjadi lebih besar.

3 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari makalah ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Pada pemanasan pertama dan kedua diperoleh nilai yang sama bahwa besarnya rise time sebesar 850 detik, over shoot sebesar 7,33% dan settling time yang dicapai sistem adalah 2000 detik.
2. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa besarnya rise time sebesar 853 sekon, settling time sebesar 2000 sekon, overshoot sebesar 8% .
3. Pada pemanasan pertama suhu cenderung konstan pada saat mencapai 100°C, sedangkan pada pemanasan ke dua, suhu terus naik sampai suhu yang diinginkan bisa tercapai. Hal ini karena viskositas fluida pada pemanasan pertama dan kedua berbeda.

4 Ucapan Terima kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Kemenristekdikti melalui Institut Teknologi Sepuluh Nopember memberikan dana BOPTN dengan skema pengabdian kepada masyarakat telah membiayai kegiatan ini. Demikian pula disampaikan terima kasih kepada Kepala

Laboratorium Mekatronika Diploma Teknik Mesin ITS yang telah memberikan fasilitas untuk menyelesaikan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini.

5 Daftar Pustaka

- [1] Sampoerna dan D. fardiaz. 2001. "Kebijakan dan Pengembangan pangan Fungsional dan Suplemen di Indonesia. Pangan Tradisional Basis Bagi Industri Pangan Fungsional dan Suplemen. Pusat Kajian Makanan Tradisional, Institut Pertanian Bogor, Bogor. Hal. 1-15
- [2] Goldberg I. 1994. "Functional Foods, Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals. Chapman and Hall, London.
- [3] Setiawan A, Adil R, Sulistijono G. 2013. "Desain Alat Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembaban Untuk Optimasi Proses Pembuatan Tempe Pada Skala Industri Rumah Tangga". Politeknik Elektro Negeri Surabaya. Surabaya.
- [4] Bayusari I, Caroline, Septiadi R, Suprpto B. Y. 2011. "Perancangan Sistem Pemantauan Pengendali Suhu pada Stirred Tank Heater menggunakan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)". Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- [5] Johnson Curtis D 2003. "Process Control Instrumentation Technology", Prentice Hall New Jersey USA.
- [6] Raven F. A, 1995, "Automatic Control Engineering", McGraw-Hill Inc. New York.
- [7] Incropera FP, Dewitt DP, Bergman TL, Lavine AS, 2011, " Fundamental of Heat and Mass Transfer, & 7th edition, John Wiley and Son, United States of America.

