

PROSIDING SEMINAR NASIONAL KELAUTAN

POSEIDON 2012

PERSEMBAHAN OSEANOGRAFI ITB UNTUK INDONESIA

Tema :

Peran Sains dan Teknologi Kelautan
Untuk Masa Depan Indonesia

Bandung, 1 November 2012



PENYELENGGARA :

Himpunan Mahasiswa Oseanografi "TRITON"

Institut Teknologi Bandung

Gedung Labtek XI Lantai 1 Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

Email : poseidonitb.2012@gmail.com

Website : www.poseidonitb2012.com

ISBN :.....

**PROSIDING SEMINAR NASIONAL KELAUTAN
PERSEMBAHAN OSEANOGRAFI ITB UNTUK INDONESIA
POSEIDON ITB 2012**

Bandung, 1 November 2012

**Editor:
Mutiara R.Putri
Widodo S. Pranowo**



**Himpunan Mahasiswa Oseanografi dan
Program Studi Oseanografi
Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan
Institut Teknologi Bandung**

<http://www.fitb.itb.ac.id/kk-oseanografi>



PROSIDING SEMINAR NASIONAL KELAUTAN

PERSEMBAHAN OSEANOGRAFI ITB UNTUK INDONESIA

Bandung, 1 November 2012

Editor:

Mutiara R.Putri

Widodo S. Pranowo

2013

Diterbitkan oleh:

.....

Putri, M.R. dan W.S. Pranowo (editor), 2013, Prosiding Seminar Nasional Kelautan Persembahan Oseanografi ITB untuk Indonesia 2012, Bandung, 1 November 2012.

Desain cover :

Keterangan : Desain cover memperlihatkan bentuk gelombang laut.

Tata Letak : Afifah Hanum Amahoru dan Andaru Katri Lasrindy

Isi dapat dikutip dengan menyebutkan sumbernya

KATA PENGANTAR

Dengan penuh syukur kehadiran Tuhan YME, saya sebagai Ketua Panitia POSEIDON ITB 2012 menyambut terealisasinya penerbitan prosiding seminar POSEIDON ITB 2012 yang sekaligus menjadi prosiding perdana karya dari himpunan HMO TRITON ITB. “Ocean Science for Indonesian Future”, merupakan tema yang kami usung pada keseluruhan acara POSEIDON ITB 2012. Rangkaian acara yang dimulai dengan pengabdian masyarakat di Batu Karas, dilanjutkan dengan puncak acarayaitu seminar dan pameran POSEIDON ITB 2012 yang bertempat di ITB, akan ditutup dengan manis oleh kehadiran karya prosiding ini. Karya dengan berbagai kekurangan dan kelebihan ini diharapkan dapat menginspirasi segenap jiwa muda untuk bergerak memberikan karyanya bagi Indonesia.

Terima kasih juga saya hanturkan kepada Dr. rer. nat. Mutiara R. Putri selaku ketua program studi oseanografi ITB yang telah memberikan gagasan, nasehat, serta terjun langsung menjadi ketua tim editor dalam karya prosiding ini. Berikut juga kepada segenap sponsor, dosen, tim editor, karyawan, serta panitia yang saya banggakan atas kerjasama dan tenaga yang telah dikeluarkan hingga terbitnya prosiding ini.

Akhir kata, selamat membaca dan menarik ilmu sebanyak mungkin.

Bandung, 2013

Hugo Samudra Putuhena
Ketua POSEIDON ITB 2012

DAFTAR ISI

PENGEMBANGAN INDUSTRI MARITIM DALAM RANGKA MENUNJANG SISHANNEG DI LAUT Laksamana Pertama TNI Untung Suropati	1
KARAKTERISTIK PASANG SURUT DI DELTA MAHAKAM (STUDI KASUS DI BEKAPAI DAN TUNU) M. S. Widyastuti, N.S. Ningsih, dan R. Risnadi	27
PEMANTAUAN PARAMETER FISIS OSEANOGRAFI DI PERAIRAN SENUNU KABUPATEN SUMBAWA BARAT R. Savitria dan R. P. Sari	38
KONDISI OSEANOGRAFI DI SELAT SUNDA DAN SELATAN JAWA BARAT PADA MONSUN BARAT 2012 T. L. P. Yuliananingrum dan M. R. Putri	49
APAKAH YANG MENDORONG VARIABILITAS ARUS LINTAS INDONESIA DALAM SKALA GLACIAL/ INTERGLACIAL? S. W. Adhipurusa	62
KONDISI KEASAMAN (pH) LAUT INDONESIA M. Safitri dan M. R. Putri	73
ANALISIS KUALITAS AIR DENGAN PENDEKATAN STATISTIK PADA EKOSISTEM TERUMBU KARANG DI PULAU BIAWAK INDRAMAYU A. Irwan, J. Kelvin, dan G. Kamal	88
VARIABILITAS LUASAN UPWELLING INTENSITAS KUAT PADA VARIASI KEJADIAN ENSO DAN IOD DI PERAIRAN SELATAN JAWA HINGGA TIMOR Kunarso, S. Hadi, N. S. Ningsih, M. S. Baskoro	102
VARIABILITAS TRANSPOR ARUS LINTAS INDONESIA TOTAL : 1948 – 2011 A. Prianto, N. S. Ningsih, I. Sofian, F. Hanifah	114
IDENTIFIKASI <i>UPWELLING</i> BERDASARKAN DISTRIBUSI VERTIKAL SUHU, SIGMA-T, DAN ARUS DI SELATAN JAWA HINGGA NUSA TENGGARA BARAT L. Lidiawati, S. Hadi, N. S. Ningsih, M. R. Putri	128

MARKAS BESAR ANGKATAN LAUT
DINAS PENERANGAN



**PENGEMBANGAN INDUSTRI MARITIM
DALAM RANGKA MENUNJANG
SISHANNEG DI LAUT**

**MAKALAH KADISPENAL
LAKSAMANA PERTAMA TNI UNTUNG SUROPATI
PADA SEMINAR NASIONAL *IMI GOES TO CAMPUS* ITB**

BANDUNG, 1 NOVEMBER 2012

1. Pendahuluan

- a. Peta geopolitik dan geostrategi dunia di masa mendatang masih tetap akan dibayangi oleh ancaman yang dapat memengaruhi stabilitas keamanan suatu negara maupun kawasan tertentu. Sejalan dengan pesatnya perkembangan *Sains* dan Teknologi, maka bentuk-bentuk ancaman di masa mendatang, akan semakin bervariasi dan dapat mendatangkan risiko yang sangat besar bagi kelangsungan hidup suatu bangsa dan negara. Ancaman tersebut, bukan saja bersumber dari luar negeri namun dapat juga berasal dari dalam negeri. Kondisi ini mengharuskan Bangsa Indonesia untuk tetap waspada mengantisipasi berbagai kemungkinan terburuk yang dapat mengancam kepentingan nasional dan integritas Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI).

- b. Konstelasi geografi Indonesia berbentuk negara kepulauan yang terletak di antara dua benua dan dua samudera, serta sebagian besar perbatasan dengan negara tetangga berada di laut, maka ancaman dari luar akan melalui laut dan udara di atasnya dengan axis ancaman bisa dari berbagai arah. Menyadari bahwa apabila ancaman dari luar tersebut berhasil memasuki wilayah kedaulatan NKRI akan mengakibatkan risiko sedemikian besar, maka harus diupayakan wilayah nusantara tidak menjadi ajang pertempuran. Hal ini berarti bahwa ancaman sedapat mungkin ditiadakan dan dihancurkan di luar perairan yurisdiksi nasional. Oleh karena itu, industri maritim sangat dibutuhkan oleh TNI Angkatan Laut dalam melaksanakan tugas sebagai penegak kedaulatan, keamanan, dan hukum di laut dalam rangka mempertahankan kedaulatan dan keutuhan NKRI.

- c. Negara-negara di dunia berlomba membangun industri maritimnya. Diyakini, dengan industri maritim merupakan kekuatan utama suatu negara di abad ini. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia sudah seharusnya Indonesia menjadi bangsa yang makmur dan disegani karena memiliki sumber daya laut yang melimpah. Namun kenyataannya, negara ini seakan tidak berdaya memanfaatkan potensi tersebut karena industri maritim yang sudah usang. Hal ini disebabkan karena beberapa hal, antara lain Indonesia tidak punya pemahaman nasional apa arti laut bagi bangsa, paradigma pembangunan sangat kental dengan *land-based oriented*, bukan *maritime-oriented*, Indonesia tidak punya *ocean policy*. Dengan

demikian, industri maritim yang diharapkan dapat menunjang kebutuhan Alutsista TNI Angkatan Laut tidak dapat dipenuhi. Akibatnya berpotensi melemahkan pertahanan dan keamanan negara di laut.

Pada Seminar Nasional *Indonesia Maritime Institute (IMI)* ini, kami membahas pokok permasalahan yaitu **Bagaimana upaya kita untuk mengembangkan industri maritim untuk menunjang sistem pertahanan negara di laut.** Melalui makalah ini, saya bermaksud untuk menjelaskan bahwa **Jika bangsa Indonesia ingin maju, maka tingkatkan pembangunan industri maritim. Untuk membangun industri maritim tersebut maka harus mengubah *mind-set* bangsa yang bercorak kontinental-agraris menjadi maritim.**

II. Bercermin dari Sejarah Kejayaan Maritim untuk Membangun masa depan.

Sebelum membahas permasalahan di atas, terlebih dahulu kami ulas secara singkat tentang pasang surut kejayaan maritim Bangsa Indonesia. Kejayaan maritim bangsa Indonesia dalam sejarahnya mengalami pasang surut, dan tentunya kita dapat belajar untuk memahami substansi yang menjadi penentu kejayaan dan penurunan orientasi kemaritiman bangsa Indonesia dari masa ke masa.

a. Era Prakolonialisme.

Pada era prakolonialisme, di Indonesia yang saat itu disebut Nusantara, telah terdapat kerajaan-kerajaan maritim besar yang memiliki kekuasaan dan pengaruh hingga meliputi Nusantara itu sendiri dan bahkan kawasan Asia Tenggara. Pada era inilah terjadi kejayaan Nusantara sebagai bangsa bahari yang ditandai oleh:

1) Kerajaan Sriwijaya.

Sriwijaya adalah suatu kemaharajaan maritim yang pernah berdiri di Sumatera dan banyak memberi pengaruh di Nusantara dengan daerah kekuasaan membentang dari Kamboja, Thailand Selatan, Semenanjung Malaya, Sumatera, Jawa, dan pesisir Kalimantan.

“Sebagai sebuah kerajaan maritim, Sriwijaya mengandalkan kekuasaannya pada kekuatan armada laut untuk menguasai jalur-jalur pelayaran maupun perdagangan, disamping itu mereka juga membangun beberapa kawasan strategis sebagai pangkalan armadanya untuk mengawasi

serta melindungi kapal-kapal dagang sekaligus memungut bea cukainya. Letak geografis Sumatera menyebabkan raja-raja yang memerintah di kawasan itu lebih mudah menarik pajak dari arus perdagangan, terutama yang mengalir antara India dan China (Bernard H.M. Vlekke: 43)”¹.

Pada abad ke-9 Sriwijaya berhasil memberikan pengaruh di hampir seluruh wilayah kerajaan Asia Tenggara, seperti Sumatera, Jawa, Semenanjung Malaya, Thailand, Kamboja, Vietnam hingga Filipina, mereka juga menguasai jalur perdagangan di sepanjang Selat Malaka maupun Selat Sunda.

2) Kerajaan Singasari.

Pada abad ke-13, kerajaan Singasari merupakan kekuatan yang disegani di perairan Indonesia. Pengaruhnya mencapai Sumatera, Kalimantan, Bali, Maluku sampai ke Campa dan Cina. Perkembangan Kerajaan Singasari dipandang sebagai ancaman bagi Kerajaan Tiongkok di mana saat itu berkuasa Kaisar Dinasti Yuan (Mongol) Khubilai Khan (1216-1294). Keinginan untuk menaklukkan Kerajaan Singasari dilakukan Khubilai Khan dengan mengirim kekuatan armadanya hingga mendarat di Pulau Jawa. Pada saat Kertanegara harus berhadapan dengan kekuatan armada Khubilai Khan, Raden Wijaya memanfaatkan momentum ini untuk membelot melawan Kertanegara dan mendirikan Kerajaan Majapahit.

Berdasarkan konsepsi negara Nusantara, Raja Kertanegara yang memerintah Kerajaan Singasari tahun 1268-1292, mengembangkan wawasan kenegaraan yang disebut “*Cakrawala Mandala Dwipantara*”. Untuk mewujudkan cita-cita itu, ia mengirimkan armada laut yang besar disebut “Ekspedisi Pamalayu” untuk menguasai seluruh Laut Cina Selatan dan kerajaan-kerajaan di sekelilingnya.

¹ Dinas Penerangan Angkatan Laut dan LKBN Antara., Pengawal Samudera, PT Gramedia, Jakarta, 1993, hal. 20.

3) Kerajaan Majapahit.

Majapahit adalah sebuah kerajaan yang berpusat di Jawa Timur, berdiri dari sekitar tahun 1293 hingga 1500 M. Menurut Kakawin Negarakertagama pupuh 13-15, daerah kekuasaan Majapahit meliputi Sumatera, Semenanjung Malaya, Borneo, Sulawesi, Kepulauan Nusa Tenggara, Maluku, Papua, dan sebagian kepulauan Filipina. Wilayah tersebut terhubung oleh aktivitas perdagangan dan juga dimonopoli oleh raja. Majapahit juga memiliki hubungan yang baik dengan Campa, Kamboja, Siam, Birma bagian selatan serta Vietnam dan bahkan kemudian mengirim duta-duta kerajaan ke negeri Cina.

Pada masa pemerintahan Ratu Tribhuwana Tungadewi (1328-1350 M), ibunda Hayam Wuruk, Majapahit mulai melebarkan pengaruhnya ke luar Jawa, antara lain ke Bali. Penyerangan ke Bali dipimpin oleh Mahapatih Gajah Mada dan saudara ratu dari daerah Minangkabau, Arya Wangsadhiraja Adityawarman. Pada masa pemerintahan Sumpah Palapa untuk mempersatukan nusantara. Sumpah tersebut mampu dibuktikan dalam masa pemerintahan Hayam Wuruk yang berada di puncak kemegahan *Wilwatikta*.

Masa pemerintahan Hayam Wuruk (1351-1389 M) dianggap masa kejayaan Majapahit. Majapahit memiliki pasukan yang kuat baik di darat maupun laut, mereka dikenal sebagai prajurit *bhayangkara*. Di bawah kendali Laksamana Mpu Nala, Angkatan Laut Majapahit memiliki kekuatan kapal-kapal perang besar dengan persenjataan yang kuat. Dalam strategi pertempuran, mereka menggunakan beragam formasi tempur seperti *Cakra Manggilingan*, *Supit Urang*, Tapal Kuda, Kalajengking, Panah Cepat maupun Kuda Barbaris untuk mengurung kapal-kapal perang musuh agar tidak mampu meloloskan diri dari kejaran armada kapal perang Majapahit.

b. Era Kolonialisme.

Pada era kolonialisme Barat di Indonesia, mereka sebagai penjajah tidak memperbolehkan kerajaan-kerajaan di nusantara untuk membangun armada laut, namun diarahkan untuk mengelola sumber daya alam di daratan guna kepentingan kaum kolonial. Mereka sadar, orientasi kelautan sebagai

kekuatan utama bangsa Indonesia dapat membahayakan kedudukan mereka sebagai penjajah. Oleh karena itu mereka harus melumpuhkan kekuatan maritim bangsa Indonesia.

1) Portugis.

Kolonialisme dan Imperialisme mulai merebak di Indonesia sekitar awal abad XVI, yaitu diawali dengan pendaratan bangsa Portugis di Malaka. Selama periode 1511-1526, nusantara menjadi pelabuhan maritim penting bagi Kerajaan Portugis, yang secara reguler menjadi rute maritim untuk menuju Pulau Sumatera, Jawa, Banda, dan Maluku. Pada tahun 1512 Portugis menjalin komunikasi dengan Kerajaan Sunda untuk menandatangani perjanjian dagang, terutama lada. Perjanjian dagang tersebut kemudian diwujudkan pada tanggal 21 Agustus 1512. Dengan perjanjian ini maka Portugis dibolehkan membangun gudang atau benteng di Sunda Kelapa.

Pada tahun yang sama, Alfonso de Albuquerque mengirim Antonio Albreu dan Francisco Serrao untuk memimpin armadanya mencari jalan ke tempat asal rempah-rempah di Maluku. Akhirnya Portugis menjadi bangsa Eropa pertama yang menemukan Maluku. Pada waktu itu dua armada Portugis, masing-masing di bawah pimpinan Anthony de Abreu dan Francisco Serau, mendarat di Kepulauan Banda dan Kepulauan Peny. Setelah mereka menjalin persahabatan dengan penduduk dan raja-raja setempat, antara lain Kerajaan Ternate di Pulau Ternate, Portugis diberi izin untuk mendirikan benteng di Pikaoli, begitu pula Negeri Hitu lama, dan Mamala di Pulau Ambon.

Persahabatan Portugis dan Ternate berakhir pada tahun 1570. Dengan adanya perlawanan rakyat, peperangan dengan Sultan Babullah selama 5 tahun (1570-1575), membuat Portugis harus angkat kaki dari Ternate dan terusir ke Tidore dan Ambon .

Perlawanan rakyat Maluku terhadap Portugis, dimanfaatkan Belanda untuk menjejakkan kakinya di Maluku. Pada tahun 1605, Belanda berhasil memaksa Portugis untuk menyerahkan pertahanannya di Ambon kepada Steven van der Hagen dan di Tidore kepada Cornelisz Sebastiansz.

Demikian pula benteng Inggris di Kambelo, Pulau Seram, dihancurkan oleh Belanda. Sejak saat itu, Belanda berhasil menguasai sebagian besar wilayah Maluku. Kedudukan Belanda di Maluku semakin kuat dengan berdirinya VOC pada tahun 1602, dan sejak saat itu Belanda menjadi penguasa tunggal di Maluku. Di bawah kepemimpinan Jan Pieterszoon Coen, Kepala Operasional VOC, perdagangan cengkeh di Maluku sepenuhnya di bawah kendali VOC selama hampir 350 tahun.

2) Belanda.

Bangsa Belanda dengan *Verenigde Oost Indische Compagnie* (VOC) menerapkan strategi "*Command at Sea*" seperti bangsa-bangsa Eropa lain di tanah jajahannya, sehingga menurunkan semangat dan jiwa maritim dari masyarakat daerah jajahannya. Upaya Belanda sepertinya berhasil dengan terjadinya perubahan nilai-nilai sosial masyarakat Indonesia yang semula bercirikan kemaritiman menjadi kontinental-agraris, bahkan hingga saat ini.

Secara sistematis Belanda mulai menjalankan muslihatnya dengan menjadi aktor di balik peristiwa Perjanjian Giyanti tahun 1755. Perjanjian ini mengakhiri konflik antar raja-raja di pulau Jawa yang salah satu pihaknya dibantu oleh VOC. Perjanjian tersebut sangat menguntungkan Belanda karena berhasil menguasai seluruh pantai utara Pulau Jawa, sekaligus menguasai jalur perdagangan laut hasil bumi dan rempah-rempah (Maluku – Jawa – Malaka). Sejak saat itu, akses laut yang berarti pula akses ke dunia luar dikuasai oleh VOC dan para penguasa pribumi didesak ke pedalaman.

Ditinjau dari aspek strategi maritim, maka Perjanjian Giyanti tahun 1755 merupakan keberhasilan VOC menerapkan *Command at Sea* (penguasaan/pengendalian laut) di tanah jajahannya, yaitu dengan cara menguasai secara fisik pantai-pantai dan pelabuhan milik raja-raja di Jawa. Cara tersebut merupakan *naval strategy* yang paling banyak digunakan oleh bangsa-bangsa di Eropa.

Perubahan nilai-nilai sosial masyarakat Indonesia yang semula bercirikan kemaritiman menjadi kontinental-agraris hingga saat ini, ditandai dengan karakter masyarakat bahkan bangsa Indonesia yang tidak lagi menyatakan laut sebagai pemersatu, tetapi dipandang sebagai pemisah antara pulau-pulau dan daratan. Akhirnya bangsa Indonesia tidak lagi menguasai lautan tetapi terpecah belah karena lautan.

3) Inggris.

Di pihak lain, Inggris juga punya perhatian terhadap Indonesia dimulai sewaktu penjelajah F. Drake singgah di Ternate pada tahun 1579. Kemudian ekspedisi lainnya dikirim pada akhir abad ke-16 melalui kongsi dagang yang diberi nama *East Indies Company (EIC)*. *EIC* mengemban misi untuk hubungan dagang dengan Indonesia.

Pada tahun 1602, armada Inggris sampai di Banten dan berhasil mendirikan Loji di sana. Pada tahun 1604, Inggris mengadakan perdagangan dengan Ambon dan Banda, tahun 1609 mendirikan pos di Sukadana Kalimantan, tahun 1613 berdagang dengan Makassar (kerajaan Gowa), dan pada tahun 1614 mendirikan loji di Batavia (Jakarta).

Dalam usaha perdagangan itu, Inggris mendapat perlawanan kuat dari Belanda. Setelah terjadi tragedi *Ambon Massacre*, *EIC* mengundurkan diri dari Indonesia dan mengarahkan perhatiannya ke daerah lainnya di Asia tenggara, seperti Singapura, Malaysia, dan Brunei Darussalam sampai memperoleh kesuksesan.

Inggris kembali memperoleh kekuasaan di Indonesia melalui keberhasilannya memenangkan perjanjian Tuntang pada tahun 1811. Selama lima tahun (1811–1816), Inggris memegang kendali pemerintahan dan kekuasaannya di Indonesia. Indonesia mulai tahun 1811 berada di bawah kekuasaan Inggris. Inggris menunjuk Thomas Stamford Raffles sebagai Gubernur Jenderal di Indonesia. Raffles berkuasa dalam waktu yang cukup singkat. Sebab sejak tahun 1816 kerajaan Belanda kembali berkuasa di Indonesia.

c. Era Pascakolonialisme.

Selama tiga setengah abad bangsa Eropa menjajah Indonesia, telah benar-benar mampu menghilangkan pusat inti kekuatan bangsa yaitu faktor psikologis demografi yang bercirikan maritim. Era pascakolonialisme yang dimulai saat diperolehnya kemerdekaan Indonesia pada tanggal 17 Agustus 1945 hingga saat ini, kenyataannya belum mampu sepenuhnya mengembalikan psikologis demografi bangsa yang telah dibelokkan oleh kolonial, meskipun telah ada pemikiran dan upaya-upaya ke arah itu.

Nuansa kontinental-agraris telah berlangsung melalui orientasi sumber daya alam di daratan. Namun persediaan di daratan semakin menipis karena umumnya tidak dapat diperbaharui oleh alam sehingga secara logis dan alamiah akan terjadi perubahan orientasi bangsa Indonesia kembali ke bidang maritim. Perubahan orientasi pembangunan Indonesia ke arah pendekatan maritim merupakan hal yang sangat penting dan mendesak. Wilayah laut harus dapat dikelola secara profesional dan proporsional, serta senantiasa diarahkan bagi kepentingan asasi bangsa Indonesia di laut. Walau tinjauan aspek sejarah maritim bangsa Indonesia, dapat dikatakan bahwa telah terjadi penurunan jiwa dan semangat bahari yang mengakibatkan penurunan kekuatan maritim yang signifikan. Oleh sebab itu dibutuhkan upaya rehabilitasi yang tidak mudah, utamanya mengembalikan psikologi demografis masyarakat Indonesia agar kembali menjadi negara yang bercirikan maritim.

1) Deklarasi Djuanda tahun 1957.

Deklarasi Djuanda 13 Desember 1957 secara geopolitik dan geoekonomi memiliki arti yang sangat penting dan mendasar bagi kehidupan serta kemajuan bangsa Indonesia. Hal terpenting dan bersejarah dari bunyi Deklarasi Djuanda 13 Desember 1957 adalah pernyataan sbb: “Bahwa segala perairan di sekitar, di antara, dan yang menghubungkan pulau-pulau yang termasuk dalam daratan Republik Indonesia, dengan tidak memandang luas atau lebarnya, adalah bagian yang wajar dari wilayah daratan negara Republik Indonesia dan dengan demikian merupakan bagian

dari perairan pedalaman atau perairan nasional yang berada di bawah kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia”.

Melalui Deklarasi Djuanda 13 Desember 1957 itulah yang kemudian kepanjangan Unclos 82, maka negara Indonesia memiliki wilayah laut sangat luas 5,9 juta km² yang merupakan duapertiga dari keseluruhan wilayah Indonesia. Di dalam wilayah laut tersebut terdapat sekitar 17.499 lebih dan dikelilingi garis pantai sepanjang 81.000 km, yang merupakan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada.

Fakta fisik inilah yang membuat Indonesia dikenal sebagai negara kepulauan terbesar di dunia. Oleh karena itu, beberapa ahli berpendapat bahwa Deklarasi Djuanda sejatinya merupakan salah satu dari tiga pilar utama pembangunan kesatuan dan persatuan negara dan bangsa Indonesia, yaitu: pertama, kesatuan kejiwaan yang dinyatakan dalam Sumpah Pemuda 28 Oktober 1928; kedua, kesatuan kenegaraan dalam NKRI yang diproklamirkan oleh Soekarno-Hatta pada tanggal 17 Agustus 1945; dan ketiga, kesatuan kewilayahan (darat, laut, dan udara) yang dideklarasikan oleh Perdana Menteri Djuanda 13 Desember 1957.

2) Unclos’82.

Konvensi PBB tentang Hukum Laut (*United Nations Convention on The Law of The Sea* atau Unclos) yang ditandatangani di Montego Bay, Jamaica, tanggal 10 Desember 1982 merupakan bentuk resmi pengakuan internasional atas konsepsi Wawasan Nusantara yang diperjuangkan Indonesia melalui Deklarasi Djuanda tanggal 13 Desember 1957. Ini berarti Wawasan Nusantara atau konsepsi negara kepulauan menjadi salah satu prinsip yang diterima dan diakui dalam hukum laut internasional yang baru. Indonesia kemudian meratifikasi Unclos’82 dengan Undang-undang nomor 17 tahun 1985 tanggal 13 Desember 1985. Unclos 1982 tersebut secara resmi mulai berlaku sejak tanggal 16 November 1994.

III. Industri Maritim

Indonesia sebagai negara kepulauan (*archipelagic state*) terbesar di dunia memiliki wilayah laut yang berbatasan langsung dengan sepuluh negara tetangga. Secara kewilayahan Indonesia memiliki luas wilayah yurisdiksi nasional $\pm 7,8$ juta km² dengan duapertiga wilayahnya adalah laut seluas $\pm 5,9$ juta km², yang mencakup Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI) seluas $\pm 2,7$ juta km² dan Laut Wilayah, perairan kepulauan serta perairan pedalaman seluas $\pm 3,2$ juta km². Selain itu memiliki panjang garis pantai ± 81.000 km, serta memiliki 17.499 pulau yang terdiri atas 5.698 pulau bernama dan 11.801 pulau tidak/belum bernama.² Potensi tersebut menyimpan kekayaan yang luar biasa. Jika dikelola dengan baik, potensi kelautan Indonesia diperkirakan dapat memberikan penghasilan lebih dari 100 miliar dolar AS per tahun. Namun yang dikembangkan kurang dari 10 persen.

Melihat besarnya potensi laut nusantara, sudah seharusnya Indonesia lebih memprioritaskan pembangunan infrastruktur maritim, seperti, industri perkapalan yang modern, pelabuhan yang lengkap, sumber daya manusia (SDM) di bidang maritim berkualitas, serta kapal berkelas, mulai untuk jasa pengangkutan manusia, barang, migas, kapal penangkap ikan sampai dengan armada kapal perang TNI Angkatan Laut yang modern.

Namun, kondisi ideal tersebut sulit tercapai. Hal ini terjadi karena industri maritim Indonesia tidak dikelola dengan benar, sehingga tidak satu pun negara yang segan dan menghormati Indonesia sebagai bangsa maritim. Negara asing menempatkan bangsa Indonesia sebagai pasar produk mereka. Pemerintah dipandang perlu melakukan langkah perbaikan terhadap permasalahan tersebut.

Patut disadari, bahwa ke depan industri kelautan Indonesia akan semakin strategis, seiring dengan pergeseran pusat ekonomi dunia dari bagian Atlantik ke Asia-Pasifik. Berdasarkan data *Indonesia Maritime Institute* bahwa 70 persen perdagangan dunia berlangsung di kawasan Asia-Pasifik. Secara detail 75 persen produk dan komoditas yang diperdagangkan dikirim melalui laut Indonesia dengan nilai sekitar 1.300 triliun dolar AS pertahun. Potensi ini dimanfaatkan Singapura, dengan membangun pelabuhan pusat pemindahan (*transshipment*) kapal-kapal perdagangan dunia. Negara yang luasnya hanya 692.7 km², dengan penduduk 4,16 juta jiwa itu telah menjadi pusat jasa transportasi laut

² Rencana Kebutuhan Pembangunan Kekuatan Pokok Minimum TNI Angkatan Laut.

terbesar di dunia. Bahkan ekspor barang dan komoditas Indonesia 70 persen melalui Singapura. Bandingkan dengan Jawa Barat yang memiliki luas 34.816,96 km².

Selama ini sudah menjadi rahasia umum bila industri dan jasa maritim Indonesia berada di bawah kendali Singapura. Lihat saja sebagian kapal yang berlayar menghubungkan antar pulau sebagian besar menggunakan bendera negeri *The Red Dot* (Jepang), khususnya kapal yang memuat barang-barang terkait dengan berbagai macam industri. Sebagai contoh industri perkapalan yang bertebaran di beberapa tempat di Kepulauan Riau, khususnya di pulau Batam dan beberapa pulau sekitarnya, termasuk pulau Karimun. Di sana ada investasi bidang perkapalan dan mayoritas pelakunya berasal dari Singapura.

Pertanyaannya, mengapa hal demikian bisa terjadi? Tidak sulit untuk menjawabnya, yaitu bisa jadi karena ada pembiaran dari pembuat kebijakan di bidang investasi. Bisa pula karena para pembuat kebijakan di negeri ini tidak paham strategisnya dunia maritim bagi Indonesia. Ada kemungkinan pula, terdapat agen-agen dari Singapura di beberapa tempat strategis yang siap memotong bila ada kebijakan maritim yang menguntungkan Indonesia atau sebaliknya merugikan negeri tersebut.

Keadaan semakin rumit karena sebagian industri perkapalan di dalam negeri masih harus berurusan lewat Singapura. Mengenai pembangunan kapal misalnya, seperti propeler, sistem pendorong, radar dan lain sebagainya, pabrikan subsistem tersebut terkadang tidak menginginkan galangan Indonesia berhubungan langsung dengan kantor pusat mereka di Eropa atau Amerika. Tapi, harus lewat perwakilan regional mereka yang berada di Singapura. Pertanyaan besar muncul, kapan bangsa Indonesia sadar akan hal ini dan bertindak memutus rantai pengendalian negeri kecil tersebut.

a. **Industri Perkapalan.**

Indonesia dengan perairan yang luas, membutuhkan sarana transportasi kapal yang mampu menjangkau pulau-pulau yang jumlahnya mencapai lebih dari 17.499 buah. Tak heran jika kebutuhan industri perkapalan setiap tahun terus meningkat. Sebagai negara kepulauan, sudah seharusnya Indonesia mengembangkan industri perkapalan nasional. Kebijakan ini didukung dengan adanya Inpres No 5/2005 yang intinya bahwa seluruh angkutan laut dalam negeri harus diangkut kapal berbendera Indonesia (Asas Cabotage). Tetapi, permintaan tersebut tidak diimbangi dengan kemampuan memproduksi kapal.

Industri perkapalan merupakan industri padat karya dan padat modal yang memiliki daya saing tinggi. Karena itu, dukungan pemerintah sebagai pemegang kewenangan sangat penting. Faktor kebijakan moneter dan fiskal, masih sulitnya akses dana perbankan dan tingginya bunga menjadi beban para pelaku usaha. Industri kapal juga diharuskan membayar pajak dua kali lipat. Masalah lain adalah minimnya keterlibatan perbankan. Perbankan enggan menyalurkan kredit kepada industri perkapalan. Mereka beranggapan, industri perkapalan penuh risiko karena kontrol terhadap industri ini sulit.

Selain itu, masalah lahan yang digunakan industri perkapalan terutama galangan kapal besar berada di daerah kerja pelabuhan dan hak pengelolaan lahan (HPL)-nya dikuasai PT Pelindo. Sehingga Industri perkapalan masih sangat tergantung pada HPL. Padahal, jika ada keleluasaan lahan di pelabuhan bukan tidak mungkin industri kapal lebih berkembang.

b. Industri Perikanan

Dari industri pengolahan ikan, kurangnya bahan baku menjadi penyebab tidak berkembangnya industri ini. Utilitas pabrik yang rata-rata hanya 45 persen. Menjadi masalah karena banyak hasil tangkapan ikan yang langsung di ekspor ke luar negeri, terutama ke Thailand dan Jepang. Pemerintah sebenarnya telah menerbitkan Peraturan Menteri (Permen) Kelautan dan Perikanan No 5 Tahun 2008 yang melarang ekspor langsung hasil tangkapan perikanan. Peraturan ini, secara otomatis mewajibkan perusahaan asing untuk bermitra dengan perusahaan lokal dalam membangun industri pengolahan di Indonesia. Namun yang menjadi persoalan implementasi Permen tersebut tidak berjalan sebagaimana mestinya.

Sumber permasalahan lainnya adalah penangkapan ikan ilegal (*illegal fishing* dan *illegal license*), oleh mafia perikanan yang nilainya ditaksir mencapai Rp 218 triliun per tahun. Hal ini bisa diatasi bila Indonesia memiliki kapal-kapal tangkapan ikan dengan skala menengah ke atas. Saat ini jumlah kapal ukuran tersebut hanya 3 persen dari kebutuhan. Selain itu, tingginya impor garam membuat industri garam nasional terpuruk. Juga impor tepung ikan untuk bahan baku pakan ternak juga sangat tinggi sehingga industri pengolahannya tidak bisa berkembang di dalam negeri.

Pemerintah harus segera membangun dan memperbaiki infrastruktur perikanan dan kelautan yang masih lemah ini. Tanpa upaya itu, sektor perikanan Indonesia akan tertinggal jauh dari negara lain. Sebagai contoh, pembangunan infrastruktur di Lampung yang merupakan lumbung udang terbesar harus menjadi perhatian serius pemerintah.

c. **Industri Pertahanan**

Berbicara mengenai konsep negara maritim tidak lepas dari industri pertahanan. Sebagai negara yang disatukan lautan, Indonesia tidak hanya harus bisa menjaga kedaulatan, tetapi juga melindungi seluruh kekayaan alam yang dimilikinya. Banyak sumber daya alam yang dimiliki Indonesia bisa dimanfaatkan untuk kepentingan industri maritim. Salah satunya adalah baja yang merupakan *basic* dari industri pertahanan suatu negara. Seperti yang dilakukan negara Taiwan. Mereka membangun industri baja, di sebelahnya dibangun pabrik kapal. Ini strategis karena kapal-kapal besar yang mereka bangun sewaktu-waktu bisa menjadi kapal perang. Dalam waktu tidak terlalu lama, satu lempengan baja sudah jadi. Taiwan tercatat sebagai pembuat baja tercepat di dunia. Mereka bisa dengan mudah mendistribusikan baja ke pabrik pembuatan kapal yang ada di sebelahnya. Mereka mengekspor kapal-kapal besar ke luar negeri dengan proses pembuatan hanya butuh waktu relatif cepat.

Dengan demikian industri baja dapat dikatakan sebagai salah satu pilar *national security*, karena merupakan dasar (bahan baku) dari pembangunan industri militer. Baja menjadi bahan dasar kapal-kapal perang dari berbagai jenis dan tipe. Salah jika bangsa Indonesia menjualnya begitu saja. Sebaiknya potensi logam ini diolah dengan baik, untuk mendukung industri maritim nasional. Selama tidak paham pentingnya pertahanan, kita tidak akan pernah sampai semua itu. Kita perlu TNI Angkatan Laut yang handal dan disegani dalam rangka menegakkan kedaulatan dan hukum di laut serta menjaga keutuhan NKRI. TNI Angkatan Laut membutuhkan kapal perang. Alutsista harus kita produksi dengan membangun industri baja sebagai dasar dari pembangunan kapal.

Namun, pihak asing tidak menginginkan Indonesia besar dengan menguasai bahan logam berharga ini. Sebagai bukti banyak industri pertambangan dalam negeri dikuasai pihak asing. Mereka memiliki kepentingan dengan sumber-sumber daya alam dan energi di tanah air. Mereka berusaha dengan berbagai cara menguasai bangsa ini.

IV. Penghambat Industri Maritim.

a. Sistem finansial. Kebijakan sektor perbankan atau lembaga keuangan di Indonesia, yang sebagian besar keuntungannya diperoleh dari penempatan dana di Sertifikat Bank Indonesia (SBI), untuk pembiayaan industri maritim sangat tidak mendukung. Ini karena bunga pinjaman sangat tinggi. Berkisar antara 11-12 persen per tahun dengan 100 persen kolateral (sebuah aset dijadikan jaminan yang senilai dengan pinjaman).

Bandingkan dengan sistem perbankan Singapura yang hanya mengenakan bunga 2 persen+LIBOR 2 persen (total sekitar 4 persen) per tahun. *Equity*-nya hanya 25 persen sudah bisa mendapatkan pinjaman tanpa kolateral terpisah. Sebagai contoh bagi pengusaha kapal. Satu unit kapal yang dibelinya bisa menjadi jaminan. Tidak heran jika pengusaha nasional kesulitan mencari pembiayaan untuk membeli kapal, baik baru maupun bekas melalui sistem perbankan Indonesia.

b. Kedua, sesuai dengan Kepmenkeu No 370/KMK.03/2003 tentang Pelaksanaan Pajak Pertambahan Nilai yang Dibebaskan Atas Impor dan/atau Penyerahan Barang Kena Pajak Tertentu dan/atau Penyerahan Jasa Kena Pajak Tertentu, bahwa sektor perkapalan mendapat pembebasan pajak. Namun semua pembebasan pajak itu kembali harus dibayar jika melanggar pasal 16, tentang Pajak Pertambahan Nilai yang terutang pada impor atau pada saat perolehan Barang Kena Pajak Tertentu disetor Kas Negara apabila dalam jangka waktu lima tahun sejak impor digunakan tidak sesuai dengan tujuan semula atau dipindahtangankan.

Artinya kebijakan tersebut ambivalen. Jika pengusaha menjual kapalnya sebelum 5 tahun harus membayar pajak kepada negara sebesar 22,5 persen dari harga penjualan (PPn 10 persen, PPh impor 7,5 persen dan bea masuk 5 persen). Padahal, di Indonesia jarang ada kontrak penggunaan kapal lebih dari 5 tahun, paling lama 2 tahun. Supaya pengusaha kapal tidak menanggung

rugi berkepanjangan mereka harus menjual kapalnya. Namun, pengusaha harus membayar pajak terutang kepada negara sesuai Pasal 16 tersebut. Jika demikian, industri maritim negara ini terhambat oleh kebijakan fiskal yang dianut.

Sebaliknya, di Singapura pemerintah akan memberikan insentif, seperti pembebasan bea masuk pembelian kapal, pembebasan pajak bagi perusahaan pelayaran yang bertransaksi di atas 20 juta dolar AS. Mereka sadar bahwa investasi di industri pelayaran bersifat *slow yielding*, sehingga diperlukan insentif. Kalaupun kapal harus dijual, pemerintah Singapura juga membebaskan pajaknya.

Pemerintahan di negara maju telah berpikir meski penerimaan pajak menurun, tetapi penerimaan dari sektor lain akan bertambah. Misalnya, semakin banyak tenaga kerja asing tinggal dan bekerja pada akhirnya akan banyak uang yang dibelanjakan di negara tersebut. Selain itu, transaksi perbankan biasanya akan semakin banyak, sehingga pendapatan negara akan meningkat. Ini adalah pola pikir dan langkah pemerintahan yang dikelola oleh negarawan cerdas.

c. Buruknya kualitas sumber daya maritim Indonesia menyebabkan biaya langsung industri maritim menjadi tinggi. Meskipun gaji tenaga Indonesia 1/3 gaji dari tenaga kerja asing, tetapi karena rendahnya disiplin dan tanggung jawab, menyebabkan biaya yang harus ditanggung pemilik kapal berbendera dan berawak 100 persen orang Indonesia (sesuai dengan UU No 17 tahun 2008 tentang Pelayaran) sangat tinggi. Sebaliknya, jika kapal berawak 100 persen asing yang mahal, ternyata pendapatan perusahaan pelayaran bisa meningkat dua kali lipat.

d. Persoalan klasifikasi industri maritim di tangan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dengan kendali Kementerian BUMN dan Kementerian Perhubungan, sistem klasifikasi Indonesia, membuat industri maritim Indonesia semakin terpuruk. Semua kapal yang diklasifikasi atau disertifikasi, diduga tidak diakui asuransi perkapalan kelas dunia. Kalaupun diakui, pemilik kapal harus membayar premi asuransi sangat tinggi.

Kondisi ini terjadi dimungkinkan karena dalam melakukan klasifikasi kapal, masih kurang profesional. Penilaiannya diragukan semua pihak. Patut diduga klasifikasi kapal masih sarat dengan praktek-praktek yang tidak selayaknya. Sebab itu sebagian pemilik kapal memilih tidak mendaftarkan kapalnya di Indonesia, tetapi di Hongkong, Malaysia, atau Singapura. Akibatnya pelaksanaan UU No 17 tahun 2008 hanya retorika. Karena mereka menganggap klasifikasi yang dikeluarkan PT BKI sebuah ‘pepesan kosong’ yang diragukan industri maritim global.

Jika industri maritim Indonesia mau berkembang dan siap bersaing dengan industri sejenis, maka seluruh *stakeholders*, khususnya Kementerian Perhubungan, Kementerian Perindustrian, Kementerian BUMN dan Kementerian Keuangan harus membuka mata dan jangan mau dipengaruhi para pelobi yang mewakili pihak-pihak pencari keuntungan, tanpa memikirkan nasib bangsa. Langkah pertama, revitalisasi dan deregulasi di sektor fiskal sehingga Indonesia bisa kompetitif.

Selanjutnya lakukan perombakan total di lingkungan lembaga pemberi klasifikasi sehingga dunia pelayaran internasional dan asuransi kerugian mengakui keberadaannya. Kemudian, susun ulang kurikulum lembaga pendidikan maritim oleh Kemendiknas supaya Indonesia mempunyai SDM maritim yang berkualitas dan bertanggung jawab.

V. Sistem Pertahanan Negara di Laut.

Laut sejak dulu kala bukan hanya dimanfaatkan sebagai media transportasi saja, melainkan juga sebagai sarana komunikasi baik antarpulau maupun antarbangsa sekaligus sebagai medan pertahanan. Seperti halnya yang dilaksanakan kerajaan-kerajaan di zaman Majapahit dan Sriwijaya yang melaksanakan komunikasi dengan bangsa-bangsa lainnya di dunia melalui perdagangan laut sampai ke China dan Madagaskar, atau Ternate dan Tidore yang mengembangkan kekuasaannya hingga ke wilayah Pasifik. Hal ini juga merupakan simbol dari kejayaan dan keperkasaan kerajaan-kerajaan tersebut. Dengan penguasaan laut yang kuat membuktikan kerajaan-kerajaan tersebut mampu melebarkan pengaruhnya dalam rangka menjamin kesejahteraan dan keamanan bagi rakyatnya. Untuk itu mengembalikan kejayaan bangsa melalui pembangunan dan penguatan sektor maritim, khususnya pertahanan negara di laut sudah merupakan tugas dan kewajiban bangsa beserta seluruh rakyat Indonesia.

Pertahanan negara di laut merupakan bagian integral dari pertahanan negara yang diarahkan untuk melindungi segenap bangsa dan seluruh tumpah darah Indonesia. Agar penyelenggaraan negara di laut tidak menyimpang, diperlukan landasan yang komprehensif dan integral, yaitu: Pancasila sebagai Landasan Idiil, UUD 1945 sebagai Landasan Konstitusional, Wawasan Nusantara sebagai Landasan Visional dan Ketahanan Nasional sebagai Landasan Konsepsional, dan Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2002 tentang Pertahanan Negara sebagai Landasan Operasional.

a. Pancasila sebagai Landasan Idiil. Pertahanan Laut Nusantara harus dilandasi oleh nilai-nilai Pancasila sebagai Landasan Idiil, artinya, penyelenggaraan Pertahanan Laut Nusantara harus memperhatikan pandangan hidup bangsa Indonesia, tentang perang dan damai, serta pertahanan negara.

1) Pandangan Bangsa Indonesia tentang damai dan perang. Bangsa Indonesia cinta damai akan tetapi lebih cinta kemerdekaan dan kedaulatan. Untuk mempertahankan kemerdekaan dan kedaulatan tersebut, bangsa Indonesia rela mengorbankan jiwa dan raganya. Bagi bangsa Indonesia perang adalah jalan terakhir yang terpaksa harus ditempuh apabila semua usaha penyelesaian damai gagal. Perang hanya dilakukan dalam keadaan terpaksa guna mempertahankan kemerdekaan dan kedaulatan negara serta tujuan nasional.

2) Pandangan Bangsa Indonesia tentang Pertahanan Negara. Bagi bangsa Indonesia, Pertahanan Negara merupakan upaya untuk mempertahankan kemerdekaan dan kedaulatan negara, keutuhan bangsa dan wilayah, serta terpeliharanya keamanan nasional dan terciptanya tujuan nasional.

b. UUD 1945 sebagai Landasan Konstitusional. Pertahanan Laut Nusantara harus berpedoman kepada amanat Pembukaan dan Pasal-pasal Undang-Undang Dasar 1945.

c. Wawasan Nusantara sebagai Landasan Visional. Pertahanan Laut Nusantara disusun dengan mengacu kepada enam konsep Wawasan Nusantara, yaitu: konsep

persatuan dan kesatuan, Bhinneka Tunggal Ika, kebangsaan, negara kebangsaan, negara kepulauan dan geopolitik.

- 1) **Konsep Persatuan dan Kesatuan.** Pertahanan Laut Nusantara harus berpedoman kepada konsep persatuan dan kesatuan, artinya, Pertahanan Laut Nusantara diarahkan untuk mencegah dan menghadapi setiap bentuk ancaman aspek laut yang membahayakan persatuan dan kesatuan bangsa serta integritas wilayah NKRI.
- 2) **Konsep Bhinneka Tunggal Ika.** Pertahanan Laut Nusantara berorientasi kepada konsep Bhinneka Tunggal Ika, artinya Pertahanan Laut Nusantara harus dapat mensinergikan segenap kemampuan dan mengintegrasikan kekuatan nasional.
- 3) **Konsep Kebangsaan.** Pertahanan Laut Nusantara harus berpedoman pada konsep kebangsaan, artinya, Pertahanan Laut Nusantara harus melibatkan segenap komponen bangsa, dilandasi oleh semangat kebangsaan/ nasionalisme Indonesia.
- 4) **Konsep Negara Kebangsaan.** Pertahanan Laut Nusantara harus berorientasi kepada konsep negara kebangsaan, artinya, Pertahanan Laut Nusantara harus mengedepankan prinsip satu kesatuan wilayah. Oleh karena itu, ancaman aspek laut terhadap salah satu wilayah NKRI, dianggap ancaman bagi seluruh wilayah NKRI.
- 5) **Konsep Negara Kepulauan.** Pertahanan Laut Nusantara harus berorientasi kepada konsep negara kepulauan, artinya, Pertahanan Laut Nusantara harus mempertimbangkan geografi Indonesia sebagai negara kepulauan. Dalam konteks ini, bentuk Pertahanan Laut Nusantara yang paling ideal adalah pertahanan melingkar (melindungi seluruh wilayah Nusantara). Namun bentuk pertahanan ini membutuhkan sarana dan prasarana yang amat besar. Pertahanan sektor atau rangkaian sektor akan lebih ekonomis, dimana satu dan lainnya akan saling menunjang.

Penempatan sektor pertahanan diarahkan pada wilayah laut tertentu yang dinilai mengandung potensi konflik atau dapat dijadikan axis (poros) datangnya ancaman aspek laut. Dikaitkan dengan tata kehidupan masyarakat, maka Pertahanan Laut Nusantara haruslah dipandang sebagai pertahanan melingkar sedangkan dalam operasionalnya akan menerapkan pertahanan sektor dinamis.

6) Konsep geopolitik. Pertahanan Laut Nusantara harus memperhatikan konsep geopolitik, artinya, Pertahanan Laut Nusantara harus mempertimbangkan tiga elemen Geopolitik Indonesia, yaitu:

a) Posisi strategis Indonesia diantara dua kawasan besar dunia (Samudera Hindia dan Pasifik). Posisi tersebut, pada satu sisi menempatkan Indonesia sebagai negara yang memegang peran cukup penting di kawasan regional Asia Tenggara, sekaligus sangat rawan terhadap masuknya kepentingan-kepentingan asing yang akan menggeser kepentingan nasional, sehingga mengandung potensi ancaman laten yang bisa masuk dari berbagai arah lewat laut. Sedangkan pada sisi yang lain, Indonesia digunakan sebagai jalur penghubung terdekat antar negara-negara di kedua kawasan tersebut, sehingga memperoleh beberapa keuntungan strategis bagi pertahanan negara di laut apabila peluang tersebut dimanfaatkan dengan baik.

b) Geografi Indonesia berbentuk kepulauan. Dengan konstelasi geografi seperti ini, maka Indonesia terbuka dari berbagai akses yang dapat mempengaruhi kondisi stabilitas keamanan negara. Konstelasi tersebut merupakan hambatan atau tantangan yang perlu dipertimbangkan dalam menyusun suatu konsep pertahanan negara di laut.

c) Perairan yurisdiksi nasional. Luas perairan yang menempati dua pertiga wilayah nasional mengandung sumberdaya alam yang

sangat potensial, sehingga dapat mengundang minat bangsa-bangsa lain untuk memanfaatkan secara ilegal. Hal ini akan menjadi sumber konflik yang perlu diwaspadai.

d. Ketahanan Nasional sebagai Landasan Konsepsional. Pertahanan Laut Nusantara harus berpedoman kepada empat asas Ketahanan Nasional yaitu: asas kesejahteraan dan keamanan, asas komprehensif integral atau menyeluruh terpadu, asas mawas ke dalam dan ke luar serta asas kekeluargaan.

1) Asas kesejahteraan dan keamanan, berarti bahwa dalam penyelenggaraan Pertahanan Laut Nusantara aspek kesejahteraan dan keamanan harus ditempatkan secara berdampingan, seimbang, selaras dan serasi.

2) Asas komprehensif integral, berarti bahwa Pertahanan Laut Nusantara harus mempertimbangkan berbagai aspek kehidupan bangsa (ideologi, politik, ekonomi, sosial budaya dan pertahanan keamanan) secara komprehensif dan integral.

3) Asas mawas ke dalam dan ke luar. Mawas ke dalam, berarti Pertahanan Laut Nusantara ditujukan untuk mencegah dan meniadakan berbagai bentuk ancaman dari dalam negeri. Sedangkan mawas ke luar, berarti Pertahanan Laut Nusantara ditujukan untuk mengantisipasi dan menghadapi berbagai bentuk ancaman dari luar. Di samping itu, Pertahanan Laut Nusantara perlu ditopang oleh kekuatan nasional yang handal agar memiliki daya tangkal dan daya tawar yang tinggi terhadap bangsa-bangsa lain guna menjamin kepentingan nasional.

4) Asas kekeluargaan, berarti bahwa Pertahanan Laut Nusantara merupakan tanggung jawab bersama segenap komponen bangsa. Oleh karena itu, penyelenggaraannya harus melibatkan segenap komponen bangsa, dilandasi oleh nilai-nilai kebersamaan dan gotong royong secara proporsional sesuai bidang masing-masing.

e. Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2002 sebagai Landasan Operasional. Undang-undang tentang Pertahanan Negara ini diselenggarakan oleh pemerintah dan dipersiapkan secara dini dengan sistem pertahanan negara melalui usaha membangun dan membina kemampuan dan daya tangkal negara dan bangsa dalam menanggulangi setiap ancaman. Sistem pertahanan negara dalam menghadapi ancaman militer menempatkan TNI sebagai komponen utama dengan didukung oleh komponen cadangan dan komponen pendukung. Sedangkan dalam menghadapi ancaman non militer, menempatkan lembaga pemerintah di luar bidang pertahanan sebagai unsur utama yang disesuaikan dengan bentuk dan sifat ancaman dengan didukung oleh unsur-unsur lain dari kekuatan bangsa.

TNI Angkatan Laut sebagai bagian dari bangsa Indonesia turut berupaya dalam mewujudkan bangsa Indonesia sebagai bangsa maritim yang besar dan disegani melalui peran yang dimiliki oleh Angkatan Laut. Secara universal Angkatan Laut di dunia memiliki tiga peran yang dikenal dengan istilah Trinitas Angkatan Laut, yaitu peran militer, peran *constabulary* (polisionil) dan peran diplomasi. Berawal dari pemikiran bahwa Angkatan Laut merupakan kekuatan yang mampu beroperasi selama berbulan-bulan di laut jauh dari pangkalan induknya, maka kekuatan Angkatan Laut bersifat ofensif dan ekspedisionari. Karakteristik inilah yang kemudian menjadikan kekuatan TNI Angkatan Laut sebagai instrumen diplomasi dan dapat diberdayakan untuk mengamankan kepentingan nasional di, dari atau lewat laut. Bagi TNI Angkatan Laut peran tersebut telah lama diimplementasikan dalam berbagai penugasan operasi, baik di dalam negeri maupun di luar negeri serta dalam penegakan kedaulatan dan hukum di wilayah NKRI.

TNI berdasarkan Undang-Undang RI Nomor 34 tahun 2004 memiliki tugas pokok menegakkan kedaulatan negara, mempertahankan keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia yang berdasarkan Pancasila dan Undang-undang Dasar Republik Indonesia tahun 1945, serta melindungi segenap bangsa dan seluruh tumpah darah Indonesia dari ancaman dan gangguan terhadap keutuhan bangsa dan negara. Tugas pokok tersebut diwujudkan dalam bentuk Operasi Militer untuk Perang (OMP) maupun Operasi Militer Selain Perang (OMSP). Berdasarkan undang-undang tersebut, TNI Angkatan Laut sebagai bagian dari organisasi TNI memiliki jabaran tugas meliputi:

- a. Melaksanakan tugas TNI Matra Laut di bidang pertahanan.**
- b. Menegakkan hukum dan menjaga keamanan di wilayah laut yurisdiksi nasional sesuai dengan ketentuan hukum nasional dan hukum internasional yang telah diratifikasi.**
- c. Melaksanakan tugas diplomasi Angkatan Laut dalam rangka mendukung kebijakan politik luar negeri yang telah ditetapkan oleh pemerintah.**
- d. Melaksanakan tugas TNI dalam pembangunan dan pengembangan kekuatan matra laut.**
- e. Melaksanakan pemberdayaan wilayah pertahanan laut.**

Rumusan pertahanan negara di laut mencakup tiga elemen dasar yaitu tujuan, sarana prasarana, dan cara. Pertahanan negara di laut pada hakekatnya merupakan strategi pertahanan negara yang dilaksanakan di laut. Penyelenggaraannya dilaksanakan melalui operasi gabungan, operasi matra, dan operasi bantuan dengan dukungan kekuatan nasional. Pertahanan negara di laut ditata berdasarkan Konsep Strategi Pertahanan Nusantara, dengan mengacu kepada perkembangan lingkungan strategis dan kemampuan sumber daya nasional yang tersedia.

Sistem Pertahanan Laut Nusantara mulai dari garis batas terluar yurisdiksi nasional, didasarkan pada konsep pertahanan berlapis, pergeseran medan juang dan pertahanan semesta. Pertahanan Nusantara bersifat dualistik komprehensif yaitu mawas ke luar dan mawas ke dalam. Mawas keluar, dimaksudkan bahwa Pertahanan Nusantara menganut konsep pertahanan ke depan (*forward defence*) agar tidak memberi peluang bagi musuh untuk memasuki wilayah yurisdiksi nasional. Mawas ke dalam, mengandung makna bahwa Pertahanan Nusantara mampu menanggulangi setiap bentuk ancaman dari dalam negeri yang telah menyatu (*link-up*) dengan ancaman dari luar negeri.

Khusus pada sistem pertahanan negara di laut terdapat Komponen Maritim. Komponen maritim adalah suatu bentuk kekuatan nasional, yang merupakan integrasi/gabungan dari komponen utama, komponen cadangan dan komponen pendukung, digunakan sebagai sarana untuk menegakkan kedaulatan dan hukum di laut, dalam rangka melindungi dan menjamin kepentingan nasional di dan atau lewat laut. Dalam komponen

maritim inilah berkaitan erat antara pengembangan industri maritim dengan pertahanan negara di laut. Komponen kekuatan maritim terdiri dari:

- a. Kekuatan dan kemampuan Angkatan Laut.
- b. Armada kapal-kapal instansi pemerintah termasuk pesawat udara patroli maritim dan kapal-kapal riset serta pemetaan.
- c. Armada Niaga Nasional.
- d. Armada Perikanan Nasional.
- e. Pangkalan-pangkalan pendukungnya, termasuk Pangkalan Udara (Lanud).
- f. Pelabuhan-pelabuhan dan fasilitasnya.
- g. Industri dan Jasa Maritim.
- h. Komponen cadangan dan pendukung yang digunakan dalam tugas penegakan kedaulatan dan hukum di laut.

VI. Industri Maritim Menunjang Sistem Pertahanan Negara di Laut.

Dalam rangka melaksanakan penegakan kedaulatan, keamanan, dan hukum di negara maritim ini, TNI Angkatan Laut yang dikenal *heavy technology* sangat membutuhkan alutsista dengan teknologi modern (teknologi *stealth*). Sebut saja kapal perang, idealnya TNI Angkatan Laut memiliki 500 unit kapal perang dalam kondisi siap operasi, demikian juga pula pesawat patroli maritim dan tank amfibi sangat dibutuhkan. Kondisi saat ini, TNI Angkatan Laut baru memiliki 150 kapal perang, itupun tidak semua siap operasi karena sudah lanjut usia. TNI Angkatan Laut sebagai alat utama pertahanan negara di laut mengintegrasikan seluruh elemen kekuatan yakni kapal perang, pesawat udara, Marinir dan Pangkalan berupaya membangun kekuatan melalui pengadaan Alutsista secara perlahan-lahan sesuai alokasi anggaran yang ada.

Berkaitan dengan pengadaan alutsista TNI, telah lahir Undang-undang RI Nomor 16 Tahun 2012 tentang Industri Pertahanan yang disahkan DPR RI tanggal 2 Oktober 2012. Pada HUT ke-67 TNI tanggal 5 Oktober 2012 Presiden Susilo Bambang Yudhoyono telah menandatangani undang-undang tersebut. Undang-undang tersebut bertujuan membangkitkan industri pertahanan nasional, termasuk industri maritim.

Sebut saja kebutuhan TNI Angkatan Laut akan kapal perang saat ini amat tinggi. Kebutuhan yang tinggi itu diharapkan dapat ikut menghidupkan kembali industri maritim. Kini TNI Angkatan Laut sedang berbenah alutsista, mulai dari modernisasi hingga revitalisasi Alutsista lama. Semua itu telah dirancang dalam waktu 15 tahun dan terbagi ke

dalam tiga tahapan. Pada periode 2010–2014, TNI Angkatan Laut melaksanakan pengadaan kapal perang dengan sistem alih teknologi sebagai salah satu upaya mendukung kemandirian industri pertahanan nasional.

Indonesia setidaknya memiliki 10 BUMN industri maritim pendukung pertahanan, di antaranya PT PAL Indonesia, PT Inti, dan PT LEN. Semua itu mengisi daftar belanja TNI Angkatan Laut tahun ini. Namun sejauh ini kinerja mereka belum maksimal. Selain karena produk alutsista memerlukan riset berbiaya tinggi, komitmen dan dukungan pemerintah kepada industri maritim belum cukup. Dengan adanya Undang-undang Industri Pertahanan diharapkan dapat mengikat komitmen semua pihak, terutama pemerintah kepada industri maritim untuk mendukung pertahanan negara di laut.

Pembangunan kapal perang merupakan hasil investigasi riset selama bertahun-tahun bahkan puluhan tahun oleh suatu negara. Investasi itu harus kembali dalam bentuk terjualnya Alutsista tersebut. Di sini terlihat jelas terdapat dukungan industri maritim terhadap pertahanan negara di laut.

Dengan demikian, Undang-undang Industri Pertahanan yang baru disahkan dapat mendorong penyerapan tenaga kerja terdidik dalam jumlah besar, sehingga pengangguran intelektual bisa berkurang. Ini penting agar tidak terjadi *brain drain*, di mana SDM terbaik bangsa ini lebih memilih bekerja di luar negeri dibandingkan di dalam negeri. Oleh karena itu, kita perlu mendorong agar setiap pelaku industri pertahanan bidang maritim segera memiliki *road map* jangka pendek, menengah dan panjang, yang komprehensif dalam menyerap tenaga kerja dalam negeri yang berkualitas. Ini peluang dan tantangan bagi adik-adik mahasiswa sebagai SDM terbaik bangsa Indonesia untuk terlibat dalam membuat alat peralatan pertahanan dan keamanan yang canggih melalui industri pertahanan, baik di BUMN maupun swasta.

VII. Penutup.

Akhirnya, kita memerlukan komitmen bersama yang lahir dari idealisme untuk mengembangkan industri maritim guna menunjang alutsista TNI Angkatan Laut dalam rangka mempertahankan kedaulatan dan menjaga keutuhan NKRI. Sebuah komitmen bangsa yang lahir dari rasa kesamaan nasib dan kesamaan tujuan serta dibekali dengan sejarah kebesaran bangsa di masa lalu dan memiliki pandangan yang jauh ke depan dengan suatu cita-cita membangun Indonesia sebagai sebuah negara kepulauan bercirikan maritim. Paham maritim ini yang akan membawa kembali kedigdayaan kita sebagai bangsa maritim baik *de facto* maupun *de jure*.

Bandung, 1 November 2012

Kepala Dispenal

Untung Suropati

Laksamana Pertama TNI

KARAKTERISTIK PASANG SURUT DI DELTA MAHAKAM (STUDI KASUS DI BEKAPAI DAN TUNU)

Maraya Syifa Widyastuti¹, Nining Sari Ningsih¹, Rhyan Risnadi²

¹Program Studi Oseanografi, FITB, Institut Teknologi Bandung. Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132

²Total E&P Indonesia. Jl. Yos Sudarso, Balikpapan 76123

Email: marayasyifaw@gmail.com

ABSTRAK

Pasang surut (pasut) adalah fenomena naik turunnya permukaan air laut yang disebabkan oleh adanya gravitasi bulan dan matahari terhadap bumi dan juga karena rotasi bumi. Informasi pasut sangat penting untuk mendukung berbagai kegiatan di perairan. Karena bersifat periodik, pasut memungkinkan penulis untuk meramalkannya dengan hampir tepat. Selain mempengaruhi laut, pasut juga mempengaruhi perairan yang terhubung dengan laut. Oleh karenanya, paper ini mencoba untuk menganalisis perbedaan karakteristik pasut di dua lokasi yang berada di sekitar Delta Mahakam dengan metode *admiralty*. Delta Mahakam menjadi pilihan daerah studi karena banyak kegiatan yang berlangsung disana dan juga karena merupakan jalur navigasi berbagai kapal. Studi pasut berdasarkan data dari perusahaan Total E&P Indonesia menghasilkan kesimpulan bahwa pasut di Delta Mahakam, baik di Bekapai dan Tunu, mempunyai tipe pasut campuran condong ke semi diurnal. Tetapi pasut di lokasi Tunu mempunyai amplitudo yang lebih tinggi dan air tinggi (*high water*) di Bekapai akan lebih dahulu 15 menit dari Tunu.

Kata kunci : Pasang Surut, Delta Mahakam, *admiralty*, Bekapai, Tunu

ABSTRACT

Tides is a natural phenomenon of rise and fall of sea levels caused by the gravity of the moon and the sun to the earth, and also caused by the rotation of the earth. Tidal information is essential to support various activities in the waters. Because it is periodic, tidal allow writer to predict with almost exactly. Besides influences the ocean, tidal also affects waters that connected with the sea. Therefore, this paper tries to analyze the differences in tidal characteristics at two sites located around the Delta Mahakam by using admiralty method. Mahakam Delta became a choice of study area because many activities that took place there and also because it is a navigation path for a various vessels. Study of tides based on data from the Total E & P Indonesia leads to the conclusion that the type of tides in the Mahakam Delta, both in Bekapai and Tunu, is mixed mainly semidiurnal tides. But the tide at the Tunu site has a higher amplitude and high water in Bekapai will come 15 minutes earlier than in Tunu.

Keywords: Tidal, Mahakam Delta, *admiralty*, Bekapai, Tunu

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dimana wilayah lautnya lebih besar dibandingkan wilayah daratannya. Perairan Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan. Dalam pengembangan potensi tersebut dibutuhkan informasi karakteristik perairannya agar bisa menentukan langkah pengembangan yang ingin dilakukan.

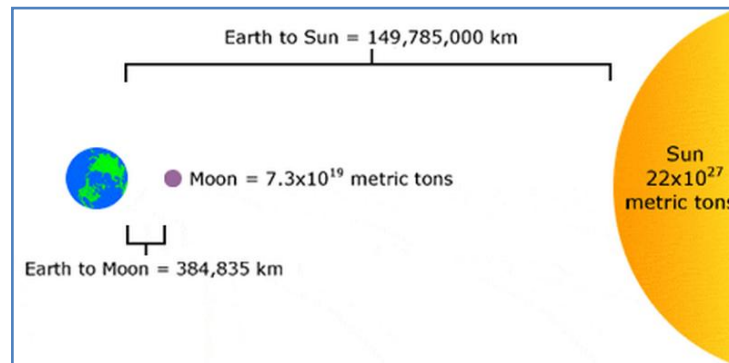
Pasang surut (pasut) merupakan salah satu aspek penting dalam mempelajari karakteristik suatu perairan. Informasi pasut ini bisa digunakan untuk kegiatan navigasi dan keperluan pembangunan serta segala kegiatan yang dilakukan di perairan. Selain mempengaruhi laut dan pesisir, pasut juga akan mempengaruhi perairan yang terhubung dengan laut, seperti sungai, estuari, laguna, dan lain-lain dengan efek yang berbeda-beda (Hadiansyah, 2008).

Oleh karena itu, paper ini mencoba untuk mencari perbedaan karakteristik pasut perairan (fase dan amplitudo) dari dua lokasi di sekitar Delta Mahakam, yaitu di Bekapai dan Tunu dengan metode *admiralty*. Daerah Delta Mahakam dipilih sebagai daerah studi karena Delta Mahakam merupakan daerah operasi berbagai perusahaan minyak dan gas (migas) serta merupakan jalur navigasi banyak kapal, sehingga membutuhkan informasi pasut kegiatannya. Selain itu pemilihan Bekapai dan Tunu ditujukan untuk melihat perbedaan pasut di suatu delta dengan pasang surut di lepas pantai.

Studi Pustaka

Pasang surut (pasut) adalah naik turunnya permukaan laut yang disebabkan oleh kombinasi dari efek gaya gravitasi oleh bulan dan matahari dan juga karena adanya rotasi pada bumi.

Pada **Gambar 1.** terlihat matahari mempunyai massa yang jauh lebih besar dibandingkan bulan, tetapi jaraknya ke bumi jauh lebih jauh dibandingkan jarak bumi-bulan. Oleh karena itu pasut pengaruh matahari lebih kecil dibandingkan pasut pengaruh bulan (Ali, 2012b).



Gambar 1. Perbandingan jarak dan massa dari matahari dan bulan

(Sumber: NOAA, 2005)

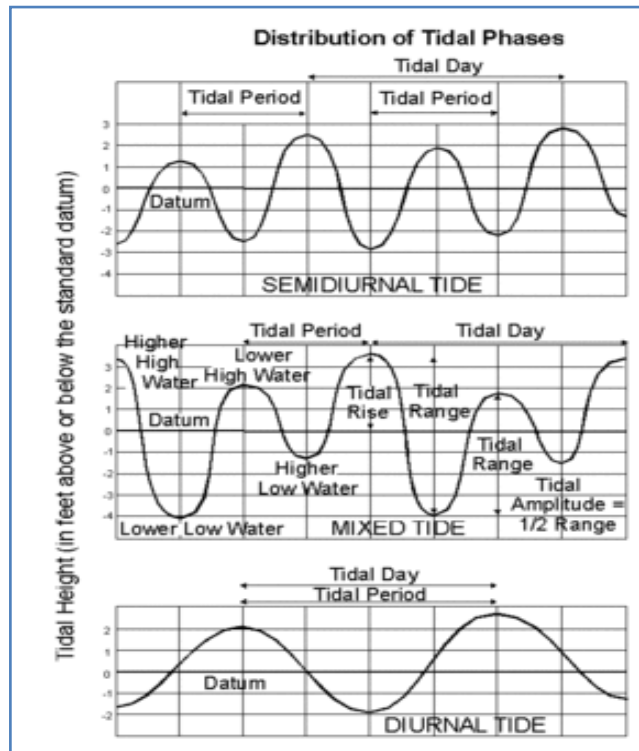
Selain gaya utama (gravitasi), gaya sentrifugal juga berpengaruh membangkitkan pasut karena gaya inersia inilah yang menyeimbangkan gaya gravitasi. Oleh karena itu gaya inersia yang menyebabkan adanya dua tonjolan pasut (Ali, 2012a).

Walaupun bulan merupakan pengaruh utama pada pasut, tetapi matahari juga menyebabkan gaya pasut. Pasut oleh matahari besarnya setengah dari pasut oleh bulan. Hal ini menyebabkan adanya variasi pola pasut. Saat matahari, bulan dan bumi dalam satu garis (*new moon* atau *full moon*) menyebabkan gelombang pasut mempunyai tinggi maksimum saat puncak dan tinggi minimum saat lembah. Kondisi ini disebut kondisi *spring tide*, sedangkan kondisi sebaliknya dimana nilai tunggang pasutnya lemah disebut berada pada kondisi *neap tide* (NOAA, 2005).

Terlihat pada **Gambar 2.** karena adanya perbedaan lokasi terhadap bulan dan matahari dan juga karena adanya daratan maka ada 3 pola pasut yang mungkin terjadi (NOAA, 2005), yaitu :

- Semidiurnal (terjadi 2 kali puncak 2 kali lembah dalam satu hari)
- Diurnal (terjadi 1 kali puncak dan 1 kali lembah dalam satu hari)

- Campuran (campuran condong semidiurnal dan campuran condong diurnal)



Gambar 2. Distribusi fase pasut

(Sumber: Zevenbergen et al., 2004)

Selain dipengaruhi oleh faktor astronomis, seperti gaya gravitasi benda matahari dan bulan serta rotasi bumi, tinggi amplitudo pasut juga dipengaruhi oleh faktor non astronomis, yang berupa kedalaman perairan, keadaan meteorologi, dan gaya gesekan laut (Sudibianto, 2007). Faktor gesekan dasar dapat mengurangi tunggang pasut dan menyebabkan keterlambatan fase (*Phase lag*) serta mengakibatkan persamaan gelombang pasut menjadi non linier semakin dangkal perairan maka semakin besar pengaruh gesekannya³.

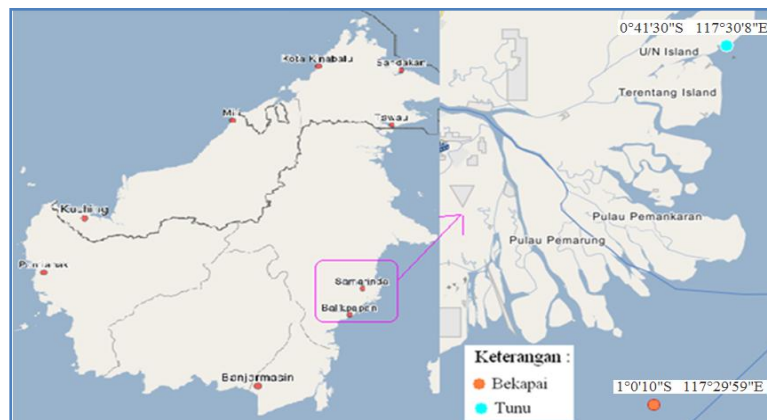
Pasut di Indonesia dibagi menjadi 4 yaitu pasut diurnal (Selat Karimata), pasut semidiurnal (Selat Malaka hingga Laut Andaman), pasut campuran condong diurnal (Pantai Selatan Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat), dan pasut campuran condong semidiurnal (Pantai Selatan Jawa dan Indonesia Bagian Timur) (Wyrcki, 1961).

³ <http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut>

Metodologi

Daerah Studi

Daerah studi yang dipilih oleh penulis adalah Delta Mahakam. Delta Mahakam merupakan suatu kawasan delta yang terdiri dari beberapa pulau yang terbentuk akibat adanya endapan di muara Sungai Mahakam dengan Selat Makassar, Kalimantan Timur. Di daerah studi ini, penulis memilih dua lokasi studi, yaitu Bekapai ($1,003107^{\circ}$ S, $117,499867^{\circ}$ E) dan Tunu ($0,4603949^{\circ}$ S, $117,5890732^{\circ}$ E). Lokasi dan daerah studi bisa dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Lokasi Daerah Studi

(Gambar diadaptasi dari wikimapia)

Data

Data yang digunakan dalam studi ini adalah data tinggi muka air laut yang didapatkan dari Total E&P Indonesia. Data elevasi ini diukur dengan *Tide gauge Valeport 740* (**Gambar 4.**), yang prinsipnya adalah merekam perubahan muka air berdasarkan perubahan tekanan hidrostatik di sepanjang kolom air. Panjang data yang digunakan adalah 15 hari, yaitu 1 – 15 Januari 2010 untuk Bekapai, 1 – 15 Februari 2008 untuk Tunu. Adapun interval data adalah 1 jam.



Gambar 4. Tide gauge Valeport 740

(Sumber: Pageo, 2012)

Pengolahan data

Data pasut kemudian diolah untuk mendapatkan konstanta harmonik (amplitudo dan keterlambatan fase) dengan menggunakan metode *admiralty*. Prinsip metode ini adalah menganggap pasut merupakan superposisi dari banyak gelombang harmonik, dimana konstanta harmoniknya (amplitudo dan fasenya) dapat dihitung (Ali, 2012c).

Konstanta harmonik dapat digunakan untuk:

- Menentukan tipe pasut (dengan amplitudonya saja) dengan formula *formzahl* (Hardisty, 2008):

$$F = \left(\frac{A(O_1) + A(K_1)}{A(M_2) + A(S_2)} \right) \quad (1)$$

A : amplitudo

$F \leq 0.25$: pasut semi diurnal

$0,25 < F \leq 1.5$: campuran condong semidiurnal

$1.50 < F \leq 3.0$: campuran condong diurnal

$F > 3.0$: diurnal

- Memprediksi pasut

Karena pasut merupakan superposisi dari gelombang harmonik (Ali, 2012b), maka penulis bisa memprediksi pasut. Prediksi pasut pada studi ini dengan menggunakan formula (Van Rijn, 1990):

$$Z_t = Z_o + \sum_1^n f_i H_i \cos \left(\frac{2\pi}{T_i} + v_i + u_i - g_i \right) \quad (2)$$

Z_t = tinggi muka air laut pada waktu t

Z_o = tinggi muka air laut rata-rata terhadap datum

f_i dan u_i = faktor koreksi untuk gelombang harmonik ke- i

H_i = amplitudo gelombang harmonik untuk gelombang harmonik ke- i

v_i = bagian perubahan seragam untuk gelombang harmonik ke- i

g_i = keterlambatan fase dari gelombang harmonik untuk gelombang harmonik ke- i

Hasil prediksi pasut kemudian diverifikasi dengan data asli yang lebih panjang, yaitu 29 hari, untuk Bekapai (1-29 Januari 2010) dan Tunu (1-29 Februari 2008).

Hasil, Pembahasan, dan Diskusi

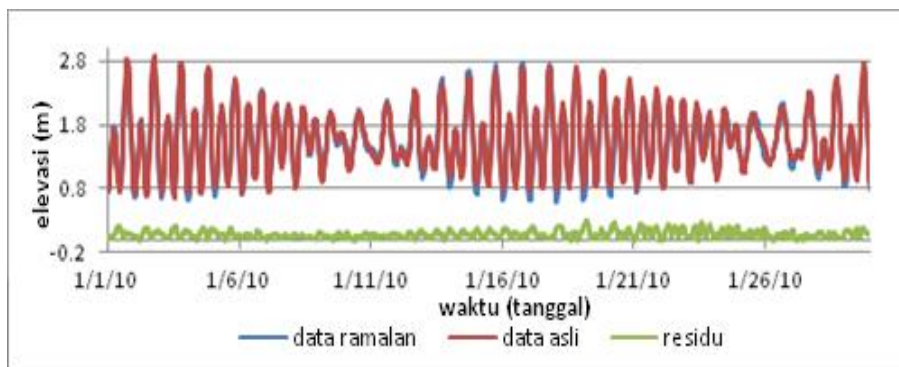
Hasil yang didapatkan dari metode *admiralty* merupakan konstanta harmonik dan hasil prediksi untuk masing masing lokasi, yaitu Bekapai dan Tunu. Konstanta harmonik untuk Bekapai dan Tunu dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Konstanta harmonik di daerah Bekapai (atas) dan Tunu (bawah)

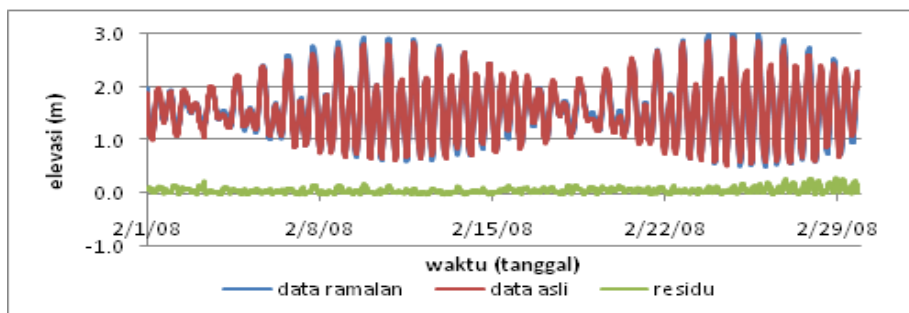
	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₄	MS ₄
A (m)	1,55	0,48	0,39	0,04	0,09	0,23	0,14	0,08	0,01	0,00
g	0,00	105,97	212,58	356,15	212,58	272,62	187,09	272,62	271,10	268,10
	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₄	MS ₄
A (m)	1,59	0,59	0,43	0,03	0,1	0,23	0,15	0,08	0,00	0,01
g	0,00	107,12	210,97	77,64	210,97	289,38	197,69	289,38	267,45	60,54

Dengan memasukan amplitudo yang didapat ke dalam **Persamaan (1)**, maka didapatkan nilai *formzahl*-nya, yaitu 0,432 untuk Bekapai dan 0,368 untuk Tunu. Hal ini berarti, tipe pasut bauk di Bekapai dan maupun di Tunu adalah campuran cenderung semidiurnal.

Hasil komponen harmonik tadi diverifikasikan dengan prediksi untuk data 29 hari. Hasil verifikasinya ditunjukkan oleh **Gambar 5**. untuk Bekapai, dan **Gambar 6**. untuk Tunu.



Gambar 5. Verifikasi prediksi pasut di Bekapai dengan data asli (1-29 Januari 2010)



Gambar 6. Verifikasi prediksi pasut Tunu dengan data asli

(1-29 Februari 2008)

Setelah hasil verifikasi menunjukkan hasil yang bagus, yaitu mirip dengan data aslinya, konstanta harmonik kedua lokasi tersebut dibandingkan. Perbedaan konstanta harmonik diantara Bekapai dan Tunu (konstanta harmonik Bekapai dikurangkan dengan konstanta harmonik Tunu) ditunjukkan oleh **Tabel 2**.

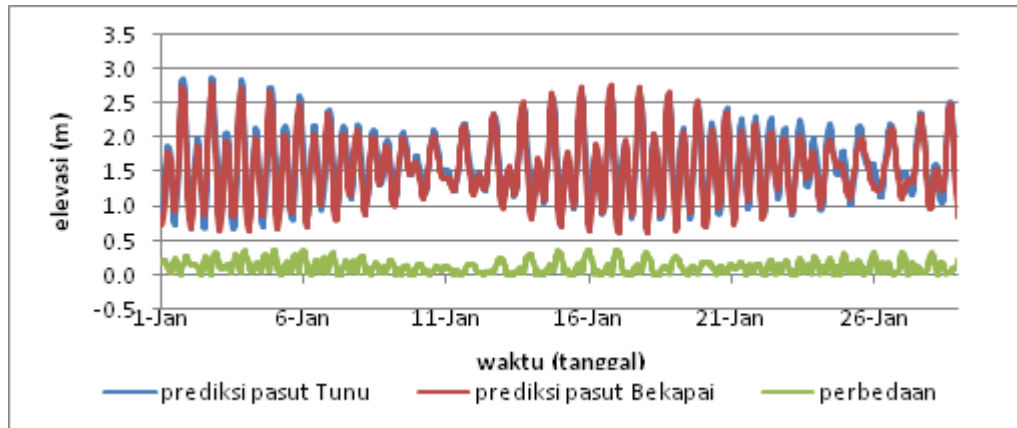
Tabel 2. Perbedaan konstanta harmonik antara Bekapai dan Tunu

	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₂	K ₁	O ₁	P ₁	M ₄	MS ₄
A (m)	-0,04	-0,11	-0,04	0,01	-0,01	0	-0,01	0	0,01	-0,01
g	0,00	-1,15	1,61	278,51	1,61	-16,76	-10,6	-16,76	3,65	207,56

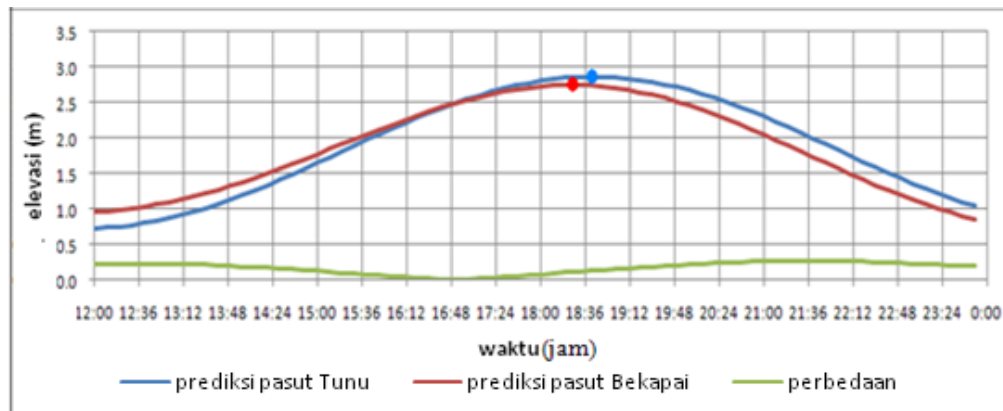
Dari hasil perhitungan nilai *formzahl*, didapatkan perbedaan nilai *formzahl* yang sedikit, yaitu 0,064. Hal ini sangat wajar, mengingat Tunu dan Bekapai berada di satu daerah yaitu Delta Mahakam, maka wajar jika Bekapai dan Tunu mempunyai tipe dan pola pasut yang sama.

Pada **Tabel 2**. diatas juga terlihat bahwa amplitudo gelombang harmonik M₂, S₂, K₂, O₁ di Tunu lebih besar dibandingkan di Bekapai. Perbedaan amplitudo yang tercantum diatas diduga dikarenakan adanya perbedaan batimetri antara Bekapai dan Tunu. Gelombang pasut akan bertransformasi bila melewati daerah yang berbeda batimetrinya. Jika gelombang tersebut menuju ke tempat yang lebih dangkal maka amplitudo akan lebih tinggi. Amplitudo di Tunu sedikit lebih tinggi dibandingkan Bekapai. Hal ini dikarenakan daerah Tunu lebih dangkal dibandingkan Bekapai.

Perbedaan fase menunjukkan bahwa Bekapai akan melewati gelombang pasut terlebih dahulu. Hal ini diduga dikarenakan posisi Bekapai yang lebih dekat dengan *offshore*, sedangkan posisi Tunu lebih dekat ke delta. Untuk menguatkan dugaan ini kemudian dilakukan perbandingan elevasi di kedua tempat pada waktu yang bersamaan, yaitu pada tanggal 1-29 Januari 2010. Perbandingan elevasi tersebut bisa dilihat pada **Gambar 7**. Agar dapat terlihat dengan jelas jarak antar puncak dari hasil kedua prediksi tersebut, maka dilakukan perbesaran grafik pada **Gambar 7**. menjadi grafik perbedaan elevasi kedua lokasi yang terdiri darinya satu puncak elevasi muka air. Perbesaran tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 7. Perbandingan prediksi pasut di Tunu dan Bekapai
1-29 Januari 2010



Gambar 8. Prediksi pasut di Tunu dan Bekapai 1 Januari 2010
(12.00-23.50)

Dari **Gambar 8.** diatas, jelas terbukti bahwa Bekapai akan lebih dahulu merasakan puncak sekitar 15 menit dibandingkan Tunu.

Kesimpulan

Berdasarkan metode admiralty 15 hari, didapatkan bahwa Bekapai dan Tunu mempunyai tipe pasut yang sama, yaitu campuran condong ke semidiurnal. Tetapi amplitudo pasut di Tunu lebih tinggi daripada Bekapai, yang diduga dikarenakan batimetri Tunu lebih dangkal dibandingkan Bekapai. Perbedaan fase yang terjadi menginformasikan bahwa kondisi air tinggi (*high water*) akan tiba 15 menit lebih awal di Bekapai dibandingkan di Tunu.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Dr. Eng. Nining Sari Ningsih dan Rhyan Risnadi, S.T. yang telah memberikan bimbingan dalam penulisan paper ini. Ucapan terimakasih juga penulis berikan untuk seluruh pihak Total E&P Indonesia dan PAGEO, yang telah menyediakan data, mengajarkan survey dan pengolahan data.

Daftar pustaka

- Ali, M., 2012a. *Hand Out 2 Pasang Surut Laut*, Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung
- Ali, M., 2012b. *Hand Out 3 Pasang Surut Laut*, Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung
- Ali, M., 2012c. *Analisa Harmonik Pasang Surut Metode Admiralty*. Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung
- Hardisty, J., 2008. *The Analysis of Tidal Stream Power*. John Willey and Sons. New York
- Van Rijn, L.C., 1990. *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas, and Oceans*. Aqua Publications. Amsterdam
- Pageo, 2012. *Tide Observation at Bekapai Area (BP Platform)*. Pageo Report Prepared for TEPI. Balikpapan
- Hadiansyah, F., 2008. *Analisis Perhitungan Pasang Surut Sungai Studi Kasus Sungai Berau, Kalimantan Timur*. Tugas Akhir, Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung.
- Sudibianto, 2007. *Studi Pasang Surut, Arus, Angin, dan Gelombang untuk Menentukan Periode Ulang di Pulau Kambing, Selat Madura*. Tugas Akhir, Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung.
- Wyrki, K., 1961. *Physical Oceanography of the South East Asian Waters. Naga Report Vol. 2* Scripps, Institute Oceanography, California.
- Zevenbergen, L.W., P.f. Lagasse, dan B. L. Edge, 2004. *Tidal Hydrologi, Hydraulics & Scour at Bridges*. 1st edition. Pub. No. FHWA-NHI-05-077 Dec 2004. Hydraulics Engineering Circular no.25. 170 pages
- NOAA, 2005. Tutorial on Tides and Water Levels. NOS education discovery kits. (<http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/>) diakses pada 15 Juli 2012.
- <http://wikimapia.org> (diakses 15 Juli 2012)
- <http://www.ilmukelautan.com/oseanografi/fisika-oseanografi/402-pasang-surut> (diakses 5 Oktober 2012)

PEMANTAUAN PARAMETER FISIS OSEANOGRAFI DI PERAIRAN SENUNU KABUPATEN SUMBAWA BARAT

Riyazsa Savitria dan Rizky Puspita Sari

Program Studi Oseanografi, FITB, Institut Teknologi Bandung. Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132

ABSTRAK

Setiap kegiatan penambangan akan menghasilkan mineral berharga dan sisa padatan yang disebut *tailing*. PT Newmont Nusa Tenggara (PTNNT) adalah salah satu perusahaan tambang tembaga dan emas yang memilih untuk menempatkan *tailing* di Perairan Senunu Kabupaten Sumbawa Barat dengan kriteria zona penempatan berdasarkan Kep-MenLH No.92/2011. Pengelolaan *tailing* dilakukan secara bertanggung jawab dengan adanya kegiatan pemantauan parameter fisis oseanografi yang mengacu pada Baku Mutu Air Laut, Kep-MenLH No. 51/2004 di Perairan Senunu setiap bulan. Pemantauan dilakukan dengan metode pengambilan data di lapangan yang salah satunya meliputi pemantauan profil kolom air laut dengan menggunakan CTD dan transmissometer serta pemantauan kualitas air laut dengan menggunakan Go Flo untuk mengambil contoh air laut. Hasil yang diperoleh menyatakan bahwa penempatan *tailing* di Perairan Senunu tidak akan mempengaruhi lingkungan perairan pesisir yang dangkal. Hal ini dikarenakan oleh berat jenisnya sendiri yang akan mengalir ke dasar laut dan terakumulasi pada kedalaman antara 3000 - 4000 m, sekitar 50 – 100 km jauhnya dari garis pantai. Selain itu dari hasil pemantauan yang dilakukan, parameter fisis oseanografi di Perairan Senunu dapat dikatakan normal karena sesuai dengan Baku Mutu Air Laut yang telah ditetapkan.

Kata kunci: *tailing*, parameter fisis oseanografi, baku mutu air laut

ABSTRACT

Tailings are the leftover materials of precious minerals and remaining solids as a result of mining activities. PT Newmont Nusa Tenggara is one of the leading companies in mining field that extracts minerals and solids. It locates their tailings in Senunu Waters, Kabupaten Sumbawa Barat. The activity conducted by PT Newmont Nusa Tenggara is within the accordance of zone placement criteria per the decision of The Ministry of Environment No. 92/2011. The management of tailing is carefully conducted within the supervision of physical oceanography that refers to the standard quality of sea water as suggested by the Ministry of Environment. The supervision is conducted by a method of recording field data in Senunu Waters every month; the sea water is carefully examined with CTD and transmissometer as well as Go Flo in order to record the sample of sea water quality. The result suggests that placer mining in Senunu Waters will not affect the environment within the shallow coastal water. This may have been caused by its specific density that forces it down to the bottom of the sea and accumulated in the depth of 3000 – 4000m, as well as 50 – 100km from the coast line. The result also suggests that supervision conducted by the physical oceanography in Senunu Waters can be considered within the range, as it hovers around the standard quality of sea water as suggested by the ministry of environment.

Key words: *tailing*, physical oceanography, standard quality of sea water

Pendahuluan

Perairan Senunu di Kabupaten Sumbawa Barat merupakan daerah penempatan sisa hasil pertambangan (*tailing*) dari PT Newmont Nusa Tenggara (PTNNT) yang merupakan salah satu perusahaan tambang tembaga dan emas di Indonesia. *Tailing* merupakan sisa batuan yang telah digiling halus, setelah mineral berharga yang memiliki nilai ekonomi di dalamnya diambil (PTNNT, 2011). *Tailing* berbentuk lumpur dan mengandung 20-45% partikel padat bercampur air laut dan/atau air tawar yang digunakan dalam proses pengolahan bijih.

Penempatan *tailing* biasanya dilakukan di darat dan di dasar laut. Namun PTNNT menetapkan sistem penempatan *tailing* di dasar laut sebagai sistem pilihan pada saat melakukan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

Selain menempatkan *tailing* di dasar laut, PTNNT juga melakukan pemantauan *tailing* dengan memperhatikan transmisivitas, temperatur dan kandungan logam berat yang terdapat di Perairan Senunu. Temperatur dianggap parameter fisis yang penting karena merupakan penentu keseimbangan kolom air. Pada perairan alami, kecerahan sangat penting bagi kehidupan biota laut. Keberadaan *tailing* di laut sangat mempengaruhi nilai transmisivitas. Semakin banyak terdeteksi *tailing* di dalam laut, maka nilai transmisivitas akan menurun.

Pemantauan ini dilakukan dengan cara memantau profil kolom air laut dengan menggunakan CTD dan memantau kualitas air laut dengan mengambil contoh air laut menggunakan botol Nansen. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui dampak penempatan *tailing* terhadap parameter fisis air laut di Perairan Senunu.

Studi Pustaka

Parameter fisis yang dikaji atau dipantau pada makalah ini adalah terbatas pada temperatur, transmisivitas, konduktivitas dan logam berat.

Temperatur

Definisi temperatur air laut dibagi menjadi dua, yaitu temperatur *in situ* dan temperatur potensial. Temperatur *in situ* merupakan temperatur air laut pada kedalaman tertentu yang dinyatakan dengan simbol T. Temperatur potensial (θ) didefinisikan sebagai temperatur *parcel* air di permukaan laut setelah ia diangkat dari suatu kedalaman tertentu

secara adiabatik ke permukaan. Temperatur potensial selalu lebih rendah dari pada temperatur *in situ* (Hadi, 2010). Pola temperatur dalam arah vertikal terbagi menjadi 3 lapisan yaitu lapisan tercampur sempurna (*mixed layer*), lapisan termoklin dan lapisan homogen dan dingin (*deep layer*).

Transmisivitas

Menurut Parson dan Takahashi (1973), kecerahan perairan adalah suatu kondisi yang menunjukkan kemampuan cahaya untuk menembus lapisan air pada kedalaman tertentu.

Konduktivitas

Konduktivitas atau daya hantar listrik merupakan suatu ukuran untuk menggambarkan kelarutan garam-garam atau ion-ion dalam air untuk meneruskan arus listrik. Konduktivitas dapat dipengaruhi oleh suhu dimana nilai konduktivitas dalam perairan dapat bertambah seiring dengan meningkatnya suhu, (Golterman, 1971).

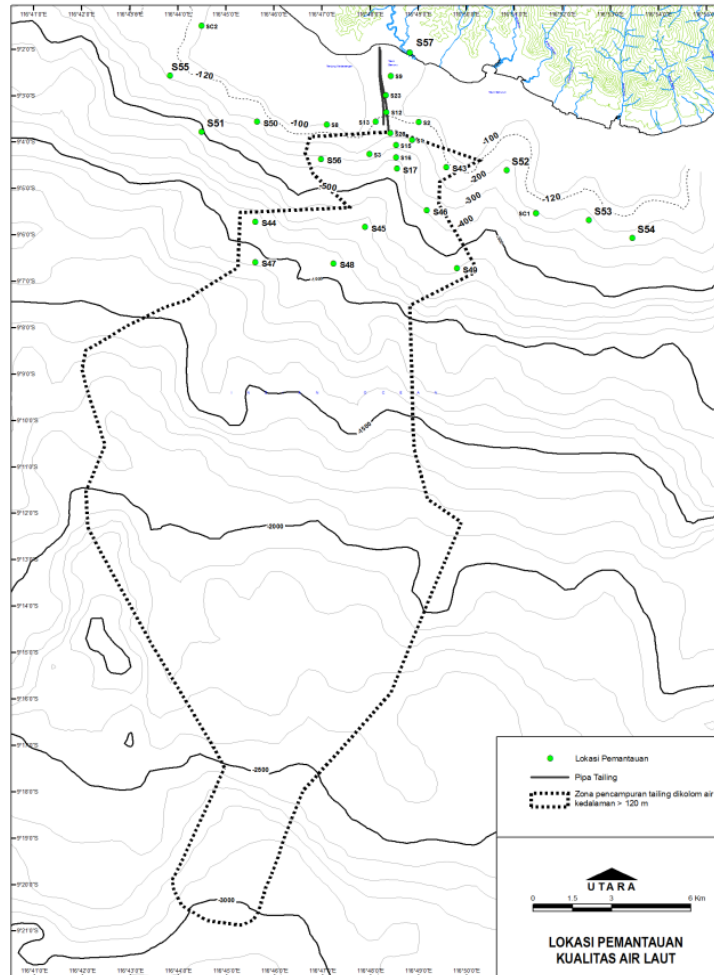
Logam Berat

Logam berat dalam jumlah tertentu dibutuhkan oleh organisme laut dalam berbagai proses metabolisme untuk perkembangan sel-sel dalam tubuhnya. Logam berat yang sering dihasilkan oleh pertambangan adalah raksa atau merkuri (Hg) dan tembaga (Cu). Merkuri dalam skala berlebihan bersifat racun dan mencemari lingkungan baik dalam bentuk buangan maupun udara. Sedangkan logam Cu merupakan logam esensial, dalam artian bahwa Cu diperlukan oleh organisme dalam konsentrasi yang sangat rendah (Palar, 2004).

Metodologi

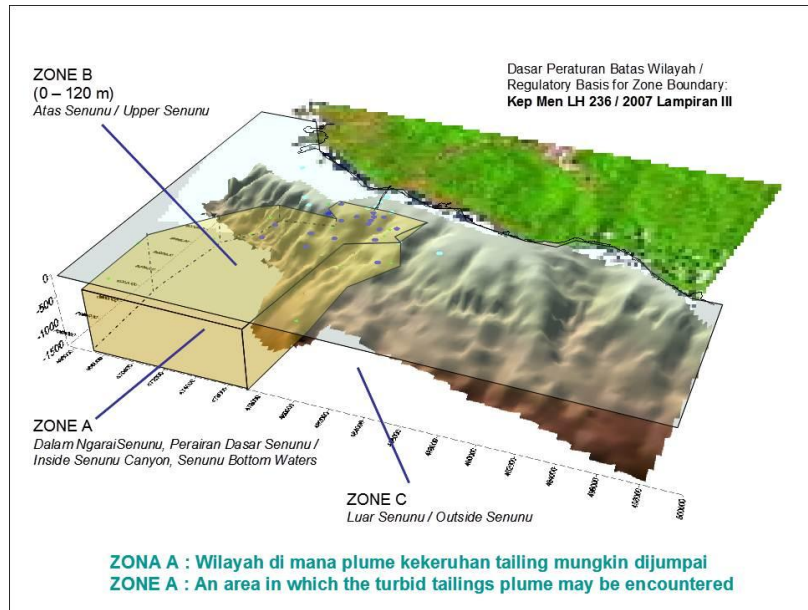
Metode yang digunakan dalam pemantauan parameter fisis oseanografi adalah pengambilan data langsung di lapangan. Pemantauan dilakukan di Perairan Senunu pada 20 stasiun (S01, S02, S03, S08, S09, S12, S13, S15, S16, S23, S28, S44, S45, S46, S48, S49, S50, S56, SC1 dan SC2) yang terletak di wilayah tersebut yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Berdasarkan Kep-MenLH No.92/2011, maka PTNNT membagi zona penempatan *tailing* menjadi tiga yaitu Zona A yang merupakan area penempatan *tailing* dengan kedalaman >120 m, dengan batas yang telah ditetapkan. Zona B merupakan area penempatan *tailing* dengan kedalaman <120 m. Pada zona ini parameter fisis oseanografi

harus memenuhi Baku Mutu Air Laut, Kep-MenLH No. 51/2004 dan Zona C merupakan area yang bebas dari *tailing* mulai dari permukaan hingga dasar laut yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Garis putus-putus yang terlihat pada **Gambar 1**. merupakan batas antara Zona A dan B dengan Zona C.



Gambar 1. Peta lokasi stasiun pemantauan Senunu, garis putus-putus menggambarkan batas zona penempatan tailing (Zona A), garis lurus di ujung zona penempatan tailing (garis putus-putus) merupakan pipa untuk mengalirkan tailing.

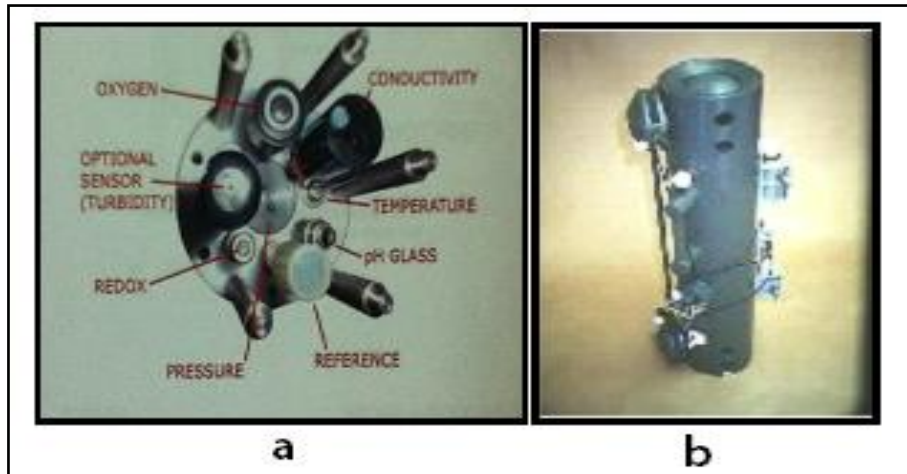
(Sumber: *Environmental Affairs Departement, PTNNT*)



Gambar 2. Penetapan batas wilayah penempatan tailing
(Sumber: *Environmental Affairs Departement PTNNT*)

Pemantauan pertama yang dilakukan adalah memantau profil kolom air laut. Pada makalah ini hanya membahas pengambilan data yang dilakukan di stasiun 16 yang terletak dekat dengan mulut pipa *tailing* dengan kedalaman 450 m. Pengambilan data dilakukan setiap bulan, namun pada makalah ini hanya dibahas data pada bulan April, Mei dan Juni 2012 sebagai contoh dan pengambilan bulan-bulan ini tidak berdasarkan kriteria tertentu. Alat yang digunakan adalah CTD (*Conductivity Temperature Depth*) Idronaut Ocean Seven 320 yang dilengkapi dengan transmissometer, laptop dengan *software* Redass yang telah terpasang, dan peralatan pendukung lainnya (Setianto, 2011).

CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur karakteristik air dengan konduktivitas, temperatur dan tekanan sebagai sensor utama serta oksigen terlarut dan pH sebagai sensor tambahan. CTD ini juga dilengkapi dengan transmissometer untuk mengukur tingkat kecerahan air.

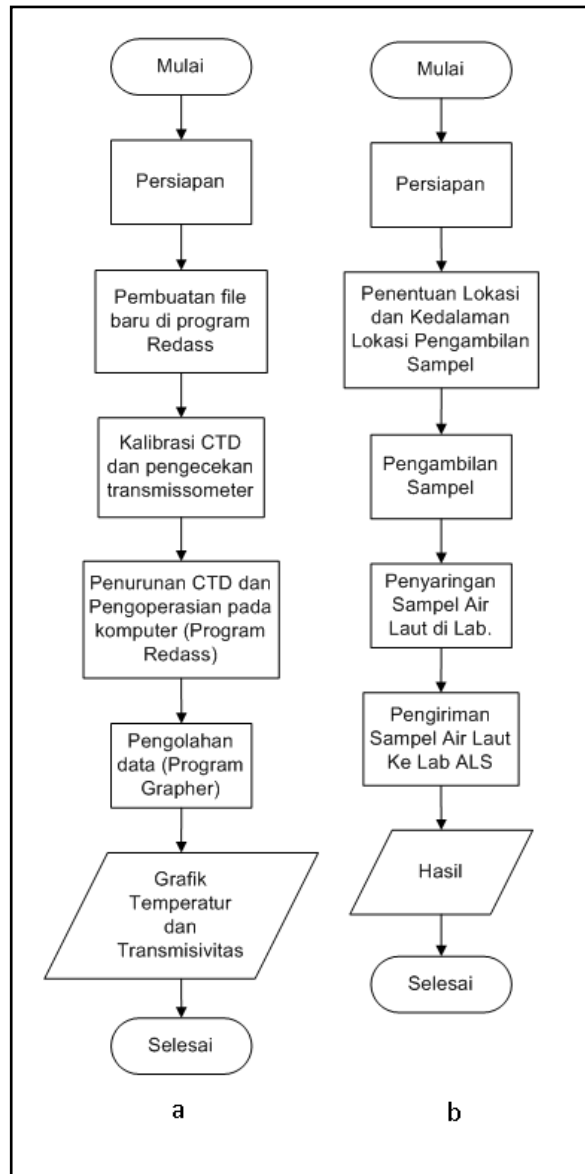


Gambar 3. a. Sensor pada Idronaut ocean seven 320Plus WOCE- CTD, b. Go Flo
(Sumber : Manual Idronaut ocean seven 320Plus WOCE- CTD)

Pemantauan selanjutnya adalah pemantauan kualitas air laut yang dilakukan di 20 stasiun di Perairan Senenu dengan cara mengambil contoh air laut menggunakan botol Nansen dengan merk Go Flo. Botol nansen merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk mengambil contoh air laut mulai dari perairan dangkal hingga perairan dalam. Botol nansen berbentuk tabung yang bagian atasnya dapat dibuka dan ditutup.

Pengambilan data dilakukan tiga bulan sekali (*quarterly*). Hal ini dilakukan sesuai dengan ANDAL, yaitu Rencana Pengelolaan Lingkungan (RKL) dan Pemantauan Lingkungan (RPL), yang sudah ditetapkan. Pada makalah ini, data yang dibahas adalah kuartar pertama dan kedua tahun 2012, yaitu bulan Januari-Maret dan April-Juni.

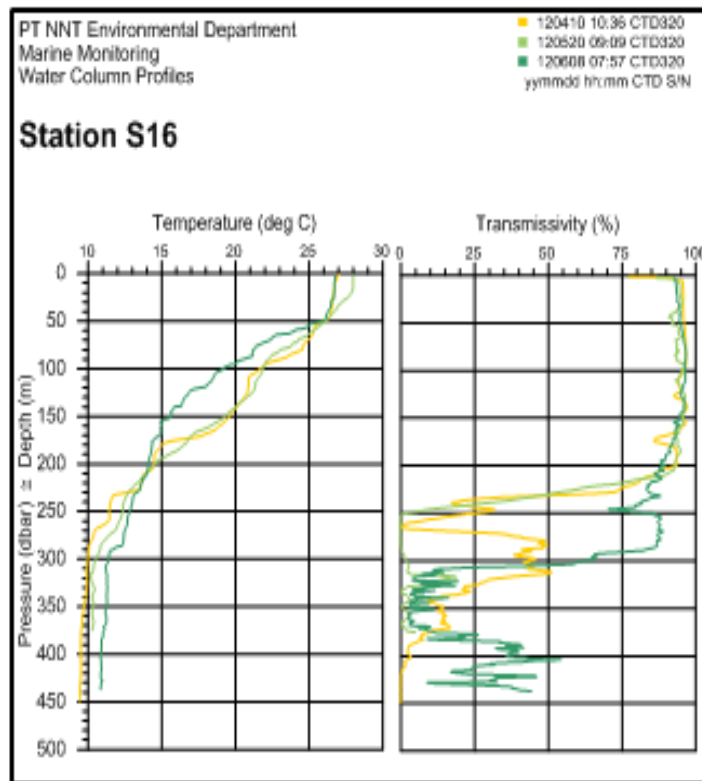
Langkah pengerjaan pemantauan parameter fisis oseanografi dapat dilihat pada **Gambar 4.** di bawah ini.



Gambar 4. a. Diagram alir pemantauan profil kolom air laut,
b. Diagram alir pemantauan kualitas air laut

Hasil, Pembahasan dan Diskusi

Pemantauan profil kolom air laut di stasiun 16 yang terletak di Perairan Senenu dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengambilan data parameter fisis oseanografi setiap bulan. Data yang dibandingkan adalah bulan April, Mei dan Juni 2012. Berdasarkan Gambar 5. di bawah ini memperlihatkan grafik perubahan temperatur terhadap kedalaman pada gambar a dan grafik perubahan transmissivitas terhadap kedalaman pada gambar b. Grafik dengan warna kuning menunjukkan data pada bulan April, grafik dengan warna hijau muda menunjukkan data pada bulan Mei dan grafik dengan warna hijau tua menunjukkan data pada bulan Juni.

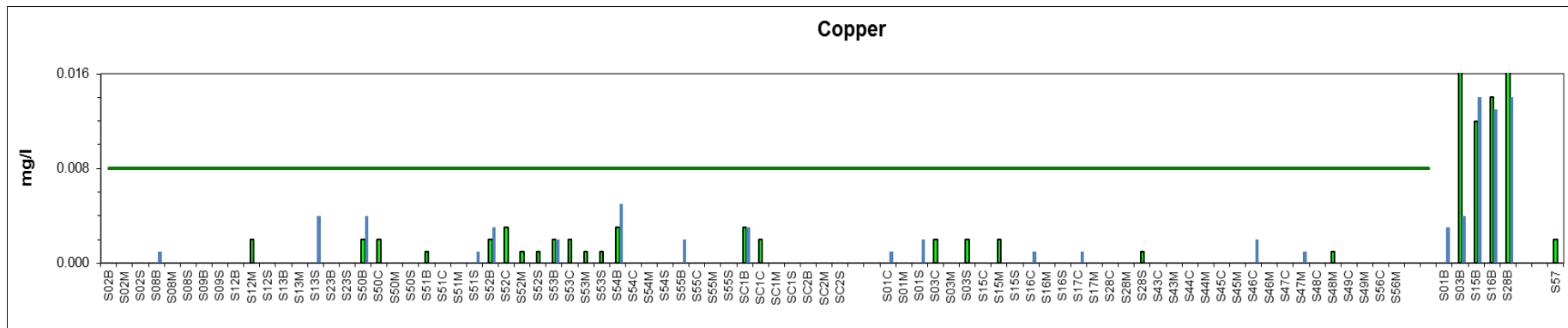


Gambar 5. Data Temperatur dan Transmisivitas pada Stasiun S16, warna kuning adalah data tanggal 10 April 2012, warna hijau muda adalah data tanggal 20 Mei 2012 dan warna hijau tua adalah data tanggal 8 Juni 2012.

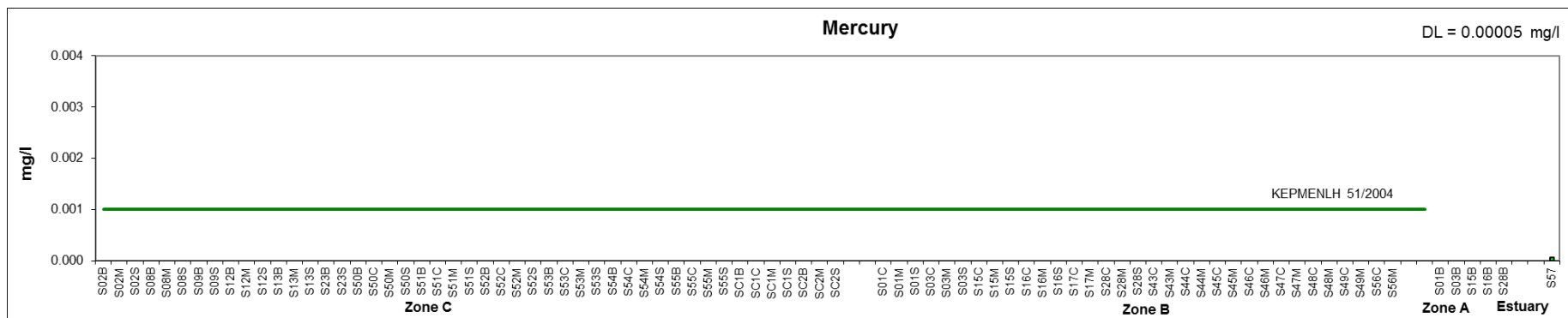
Pada grafik temperatur terlihat bahwa temperatur air laut semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman dengan nilai yang relatif sama untuk setiap bulan. Grafik yang tidak *smooth* menggambarkan keadaan laut yang dinamis. Dari data transmisivitas, Kita dapat menganalisa ada atau tidaknya *tailing plume*. *Tailing plume* adalah lapisan massa air laut yang memiliki kekeruhan lebih tinggi dari daerah sekitarnya yang dipengaruhi oleh *tailing*, yang diindikasikan dengan nilai transmisivitas yang lebih rendah dari kondisi transmisivitas normal (95-100 %), Cu terdeteksi (*Procedure, Guideline* NNT-MON-010-P101).

Pada bulan April 2012 memperlihatkan transmisi yang masih dibatas normal karena *Top of tailing plume* berada di bawah kedalaman 150 m dengan transmisi 87.68%. *Top of tailing plume* adalah kedalaman dimana awal terjadi penurunan nilai *transmisivity*. Pada bulan Mei 2012, *Top of tailing plume* berada pada kedalaman di bawah 200 m. Pada Juni 2012, *Top of tailing plume* berada pada kedalaman 210 m. Hal ini mengartikan bahwa tidak adanya *tailing plume*.

Hasil analisis kualitas air laut pada **Gambar 6.** menunjukkan kandungan tembaga (*copper*) di zona B dan C pada Perairan Senenu masih memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan KLH (untuk Cu 0,008 mg/l dan Hg 0,001 mg/l). **Gambar 7.** menunjukkan kandungan merkuri di setiap zona pada Perairan Senenu yang bernilai sangat kecil. Grafik berwarna biru menunjukkan nilai parameter kualitas air laut pada bulan Januari-Maret tahun 2012 sedangkan grafik berwarna hijau menunjukkan nilai parameter kualitas air laut pada bulan April-Juni tahun 2012. Garis horizontal berwarna hijau menunjukkan baku mutu yang ditetapkan KLH. Dalam makalah ini tidak dilakukan pemantauan terhadap arus dan estimasi volume debit yang melintasi daerah penempatan *tailing* tersebut, sehingga belum dapat diketahui adanya pengenceran kandungan logam berat di kolom air.



Gambar 6. Grafik Hasil Analisis Kandungan *Copper* dalam Air Laut



Gambar 7. Grafik Hasil Analisis Kandungan *Mercury* dalam Air Laut

Kesimpulan

Temperatur di Perairan Senenu pada bulan April hingga Juni 2012 memperlihatkan kondisi perairan normal, dimana terdapat penurunan temperatur setiap penambahan kedalaman. Hasil pemantauan transmisivitas yang didapatkan di stasiun 16 pada bulan April hingga Juni 2012 memperlihatkan bahwa transmisivitas berkurang di bawah kedalaman penempatan *tailing*, yaitu 125 m di bawah permukaan laut.

Pemantauan kualitas air laut menunjukkan parameter kualitas air laut di Perairan Senenu selama bulan Januari-Juni 2012 yang memenuhi baku mutu sesuai ketentuan KLH. Hal ini menunjukkan bahwa penempatan *tailing* di dasar laut tidak mempengaruhi kualitas air di zona luar penempatan *tailing*, yaitu zona B dan zona C di Perairan Senenu.

Daftar Pustaka

- Deputi MENLH Bidang Kebijakan dan Kelembagaan Lingkungan Hidup. 2004. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut*. Jakarta.
- Golterman, H. L. 1971. *Methods for Chemical analysis of Fresh Water*. Blackwell Scient. Publ. Oxford and Edinburg. P: 1-166
- Hadi, S. 2010. Pengantar Oseanografi Fisis. Penerbit ITB, Bandung
- IDRONAUT Srl. 2007. *OCEAN SEVEN 320Plus CTD Multiparameter Probe Operator's Manual*
- Palar, H. 2004. Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Parson, T., and Takahashi. 1973. *Biological Oceanography Processes*. Pergamon Press. New York.
- PTNNT. 2011. *Kinerja Sistem Penempatan Tailing di Dasar Laut Dalam*. Batu Hijau.
- Setianto, A. 2011. STP No. NNT-MON-012-S220 Melakukan Survei dan Mengoperasikan CTD *RealTime*. Env Department. PTNNT.

KONDISI OSEANOGRAFI DI SELAT SUNDA DAN SELATAN JAWA BARAT PADA MONSUN BARAT 2012

Trie Lany Putri Yuliananingrum dan Mutiara R. Putri

*Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesha 10 Bandung, 40132*

Email: trie.lany@yahoo.com

ABSTRAK

Upwelling di perairan Selat Sunda dan selatan Jawa dinilai penting dan berperan dalam fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD). Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat kondisi lapisan perairan dan hubungannya dengan *upwelling*. Data yang dianalisis diambil dengan melakukan pelayaran *Java Upwelling Variations Observations* (JUVO) pada tanggal 24 Februari hingga 6 Maret 2012 yang mengukur parameter fisis dan kimia oseanografi di sepuluh stasiun pengamatan yang berlokasi di Selat Sunda hingga selatan Jawa Barat menggunakan *Conductivity, Temperature, Depth* (CTD) SBE 19 plus. Hasil menunjukkan bahwa pada akhir bulan Februari hingga awal Maret 2012 tidak tampak adanya *downwelling* di daerah selatan Jawa Barat.

Kata kunci : Selat Sunda, Selatan Jawa Barat, *Upwelling*, *Downwelling*, Musim Barat

ABSTRACT

Upwelling in the Sunda Strait and in the southern Java are considered important and contribute to the phenomenon of Indian Ocean Dipole (IOD). The purpose of this study is to see the waters layer condition and its relationship with upwelling phenomenon. The data analyzed were taken by following Java Upwelling Variations Observations (JUVO) cruise on February 24th to March 6th, 2012 that measure the physical and chemical parameters of Oceanography at ten observation stations located in the Sunda Strait to the southern West Java using the Conductivity, Temperature, Depth (CTD) SBE 19 plus. The results showed that at the end of February and early March 2012 downwelling was not occurred in the southern area of West Java.

Keywords: Sunda Strait, Southern West Java, Upwelling, Downwelling, Northwest Monsoon

PENDAHULUAN

Karakteristik perairan di Indonesia dipengaruhi oleh sistem angin yang berubah-ubah yang biasa disebut sebagai sistem angin muson atau monsun. Pada bulan Juni hingga Agustus, matahari berada di belahan bumi utara sehingga tekanan di Asia rendah, akibatnya bertiuplah angin dari Australia menuju Asia yang biasa dikenal sebagai angin Pasat Tenggara (Musim Timur). Selanjutnya pada bulan Desember hingga Maret, matahari berada di belahan bumi selatan maka angin bertiup dari Asia ke Australia, dikenal sebagai angin Barat Laut (Musim Barat). Angin ini menimbulkan arus permukaan yang membawa massa air dari arah angin tersebut berhembus. Sebagai penyeimbang transpor di permukaan akibat berhembusnya angin, pada musim Timur, terjadi *upwelling* karena adanya kekosongan massa air di daerah pantai selatan Jawa. Pada musim Barat, terjadi *downwelling* karena penumpukan massa air di daerah pantai selatan Jawa.

Perairan selatan Jawa Barat merupakan perairan lepas pantai yang berhubungan dengan Samudera Hindia. Menurut Soeriatmadja (1957) dalam Rahmawati (2004) diketahui bahwa di selatan Jawa Barat terdapat arus besar bernama Arus Katulistiwa Selatan yang selalu menuju barat, tetapi pada musim Barat terdapat arus berjalur sempit yang menuju timur, dikenal sebagai Arus Pantai Jawa.

Selat Sunda merupakan jalur yang menghubungkan Laut Jawa dengan Samudera Hindia. Di dalam Selat Sunda ini terjadi pertukaran massa air antara Laut Jawa dengan Samudera Hindia. Secara umum, massa air bergerak menuju Samudera Hindia karena tinggi muka air di Laut Jawa lebih tinggi dibanding di Samudera Hindia. Laut Jawa dan Laut Cina Selatan bagian selatan merupakan sumber massa air bersalinitas rendah. *Runoff* dari sungai-sungai besar Sumatra, Kalimantan, dan Jawa lebih memengaruhi pengurangan kadar salinitas dibanding akibat curah hujan. Sedangkan massa air Samudera Hindia bercirikan salinitas tinggi karena adanya massa air dari Laut Merah dan Teluk Persia (Wyrcki, 1961).

Dari beberapa hasil studi di daerah tersebut, maka pelayaran JUVO dilakukan pada tanggal 24 Februari 2012 hingga 6 Maret 2012. Pelayaran ini merupakan kerja sama antara Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan (Balitbang KP) dengan *The First Institute of Oceanography – The State Oceanic Administration (FIO – SOA) China* dengan salah satu tujuannya adalah untuk melihat variasi vertikal suhu dan salinitas di Selat Sunda dan selatan Jawa Barat.

STUDI PUSTAKA

Sistem angin muson ini berperan dalam variabilitas salinitas karena salinitas dipengaruhi oleh evaporasi dan curah hujan, di mana pada musim Timur evaporasi lebih tinggi dibanding presipitasi dan sebaliknya pada musim Barat evaporasi lebih kecil dibanding presipitasi. Akibatnya salinitas pada musim Barat lebih kecil dibanding musim Timur. Selain itu salinitas juga dipengaruhi oleh *runoff* sungai dan gas-gas dari gunung api bawah laut (Hadi, 2009).

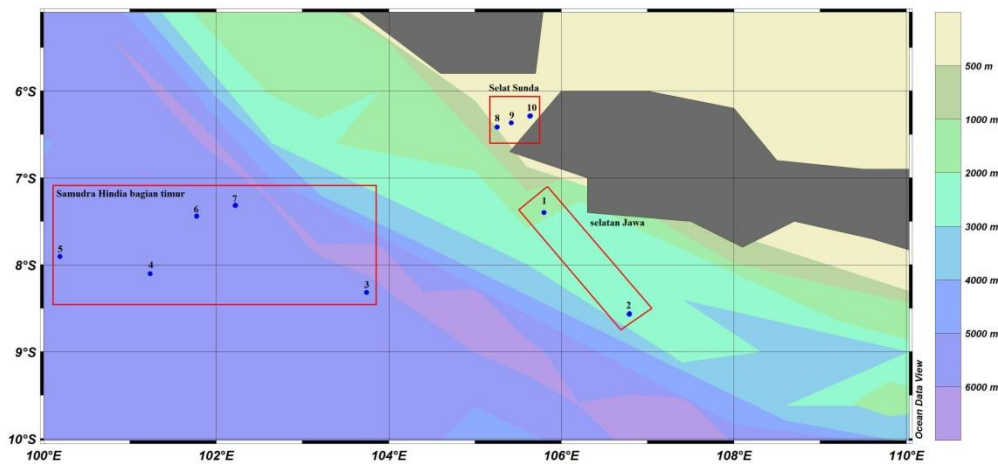
Suhu permukaan air laut untuk daerah tropis biasanya berkisar antara 27°C - 29°C. Dalam setahun terdapat dua kali nilai suhu maksimum yang masing-masing terjadi pada musim peralihan I (April-Mei) dan musim peralihan II (November). Ini terjadi karena pada musim-musim peralihan angin biasanya lemah dan laut sangat tenang sehingga proses pemanasan di permukaan terjadi dengan lebih kuat. Pada musim Barat (Desember-Februari), suhu mencapai nilai minimum yang bertepatan dengan angin yang kuat dan curah hujan yang tinggi (Nontji, 1987 dalam Rahmawati, 2004).

Upwelling di pantai selatan Jawa diperkirakan memainkan peran utama dalam fenomena *Indian Ocean Dipole* (IOD), yaitu fenomena anomali iklim yang mirip dengan El Nino di Samudera Pasifik tropis. *Upwelling* selatan Jawa ini mengontrol variasi suhu permukaan laut (SST) Samudera Hindia tropis bagian tenggara (TIO) pada skala musiman dan antar tahun, yang lebih jauh lagi juga memengaruhi iklim lokal (*Implementation Arrangement for the Research Program*, 2011).

Rahmawati (2004) telah melakukan studi penelitian mengenai karakteristik massa air dan arus geostropik di perairan selatan Jawa Barat pada bulan Desember-2001. Parameter yang ditinjau adalah suhu, salinitas, densitas, dan arus geostropik. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa ada aliran massa air ke arah timur pada bulan Desember 2001. Putri (2005) melakukan simulasi numerik di Samudera Hindia bagian timur, Laut Jawa, dan Selat Sunda selama tahun 1959-2002. Hasil menunjukkan bahwa variabilitas arus di wilayah Selat Sunda dipengaruhi oleh sistem muson, yaitu massa air yang terbawa dari Laut Jawa menuju Samudera Hindia lebih kuat ketika musim Timur daripada ketika musim Barat dan pengaruh massa air dari Laut Jawa, yang bersuhu tinggi dan bersalinitas rendah, lebih dominan daripada massa air dari Samudera Hindia.

METODOLOGI

Data yang dianalisis dalam penelitian ini adalah hasil pelayaran JUVO yang dilakukan pada tanggal 24 Februari 2012 hingga 6 Maret 2012, bertepatan dengan monsun barat. Lokasi penelitian meliputi Selat Sunda pada koordinat 105,254° BT; 6,417° LS sampai 105,643° BT; 6,288° LS dan selatan Jawa Barat pada koordinat 105,8° BT; 7,4°LS sampai 106,79° BT; 8,563° LS, serta Samudera Hindia timur pada koordinat 103,7427° BT; 8,318° LS hingga 102,22° BT; 7,32° LS.

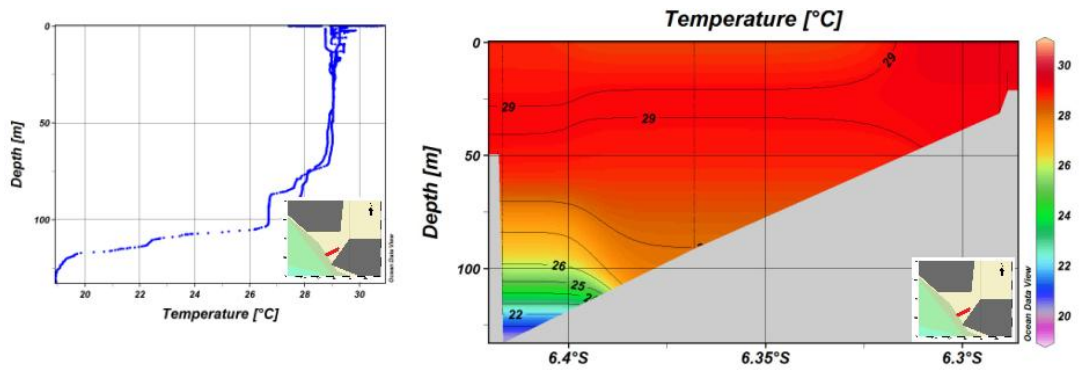


Gambar 9. Wilayah Kajian

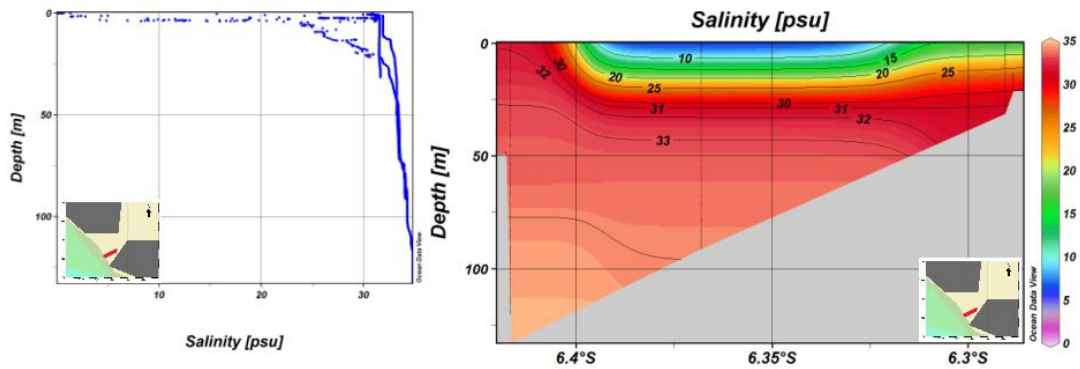
Data parameter fisis dan kimia oseanografi diperoleh dengan menurunkan CTD SBE 19 plus menggunakan kabel elektronik yang telah dikonfigurasi menggunakan *Software Version Seasave V 7.19*. Data diambil dengan selang 0,5 detik. Kemudian data yang diperoleh dalam bentuk data raw atau heksadesimal dikonversi menggunakan *SBE Data Processing* menjadi dalam bentuk *.cnv yang bertipekan ASCII. Parameter fisis dan kimia yang diperoleh adalah suhu, salinitas, konduktivitas, oksigen, dan pH namun pH tidak diolah dalam artikel ini.

Selanjutnya, untuk mengolah data, digunakan perangkat lunak Microsoft Office Excel 2007 dan *Ocean Data View* (ODV) versi 3.3.2. Microsoft Office Excel 2007 digunakan untuk mengimport data dari text file, yaitu *.cnv. Kemudian ODV digunakan untuk melihat profil persebaran parameter fisis dan kimia secara vertikal menegak dan melintang agar kondisi lapisan dapat terlihat. Hasil plot kemudian dianalisis secara deskriptif.

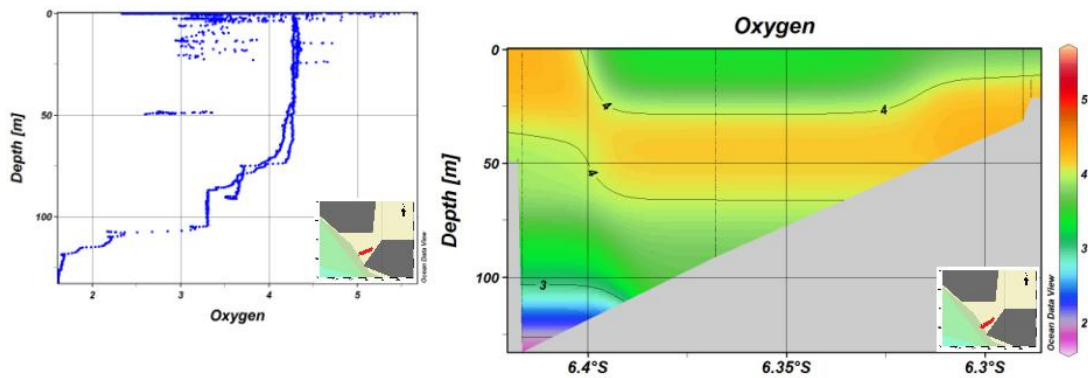
HASIL, PEMBAHASAN, DAN DISKUSI



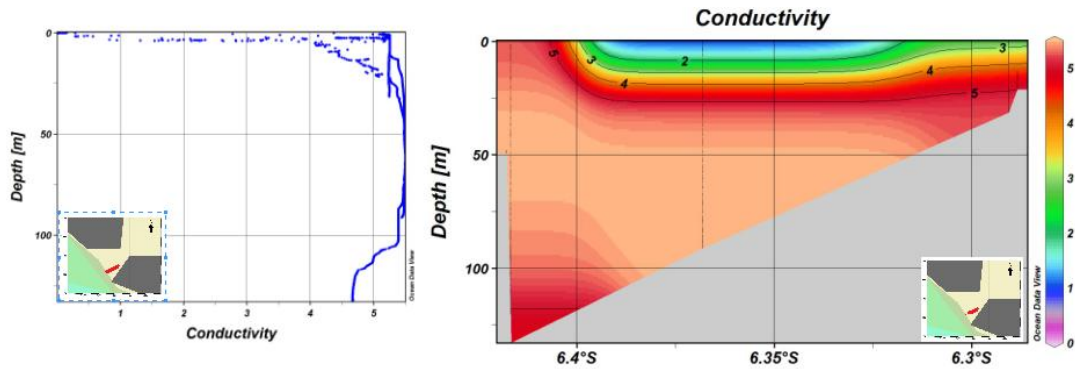
Gambar 2a. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Temperatur di Selat Sunda



Gambar 2b. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Salinitas di Selat Sunda



Gambar 2c. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Oksigen di Selat Sunda



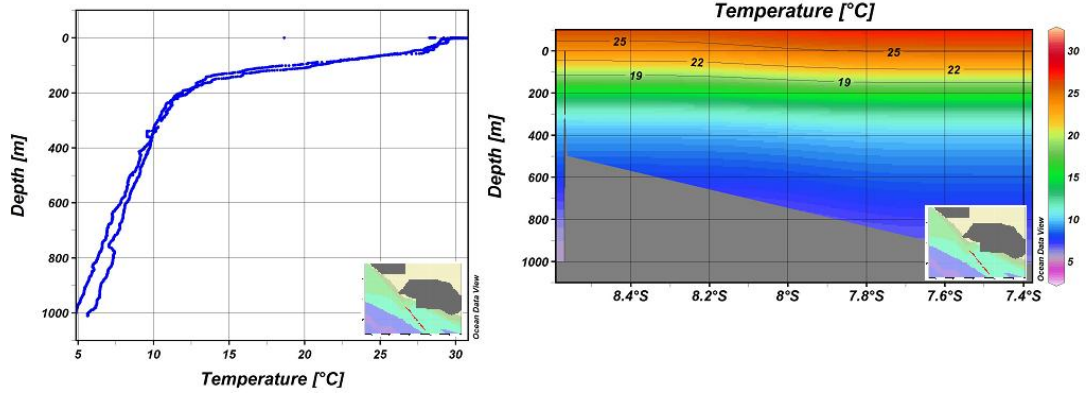
Gambar 2d. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Konduktivitas di Selat Sunda

Di Selat Sunda, diduga ada masukan massa air dari utara Selat Sunda ($6,3^{\circ}$ LS), yaitu massa air Laut Jawa, yang masuk menuju Samudera Hindia (Gambar 2a). Hal ini terlihat dari isoterm 28°C yang terpotong oleh isoterm 29°C sedangkan isoterm yang lain tertekan ke bawah. Lalu dilihat juga dari penekanan isohalin (lihat Gambar 2b) akibat masuknya massa air yang bersalinitas rendah. Massa air yang bercirikan suhu tinggi dan salinitas rendah di daerah sekitar Selat Sunda adalah ciri-ciri dari massa air Laut Jawa (Wyrtki, 1961). Ditambah lagi adanya *runoff* dari sungai-sungai yang bermuara di Selat Sunda sehingga salinitas permukaan sangat rendah yaitu sekitar 5 psu.

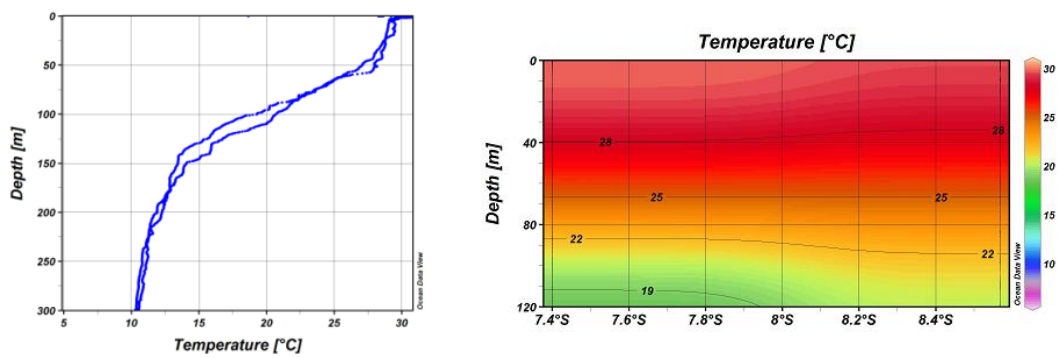
Intrusi massa air Laut Jawa ini menyebabkan turbulensi yang menyebabkan kandungan oksigen terlarut menjadi lebih tinggi di lapisan bawah permukaan dan bernilai maksimum (lihat pada Gambar 2c). Walau di kedalaman tersebut suhunya tinggi dan salinitasnya rendah namun karena turbulensi maka daya larut oksigen meningkat.

Pengadukan dari intrusi massa air dan angin yang mulai melemah karena berada di penghujung musim Barat menyebabkan lapisan homogen mulai menipis. Terlihat dari lekukan pada profil sebaran vertikal menegaknya.

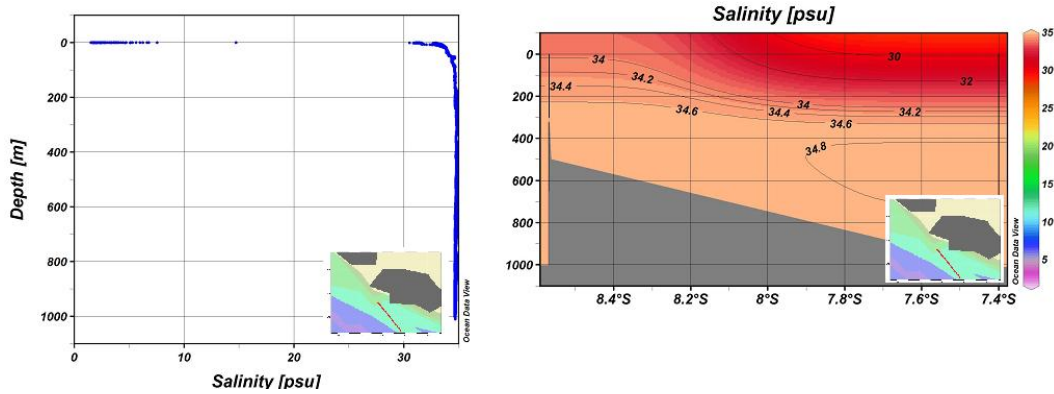
Konduktivitas bervariasi dengan konsentrasi garam, mobilitas ion-ion dan suhu air laut (Brooks dan Cole, 2002 dalam Hadi, 2009). Di daerah permukaan, konduktivitas rendah karena kandungan ion-ion rendah yang merupakan perolehan dari *runoff* sungai (lihat Gambar 2d). Di lapisan yang lebih dalam jumlah kandungan meningkat kemudian menurun lagi di dekat dasar. Hal ini dikarenakan walau suhu di lapisan dalam lebih rendah dibanding di lapisan atas, diduga ada pergerakan ion-ion dan kandungan garam yang menyebabkan meningkatnya konduktivitas.



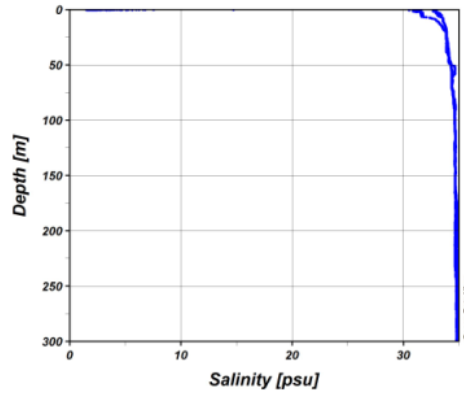
Gambar 3a. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Temperatur di selatan Jawa Barat



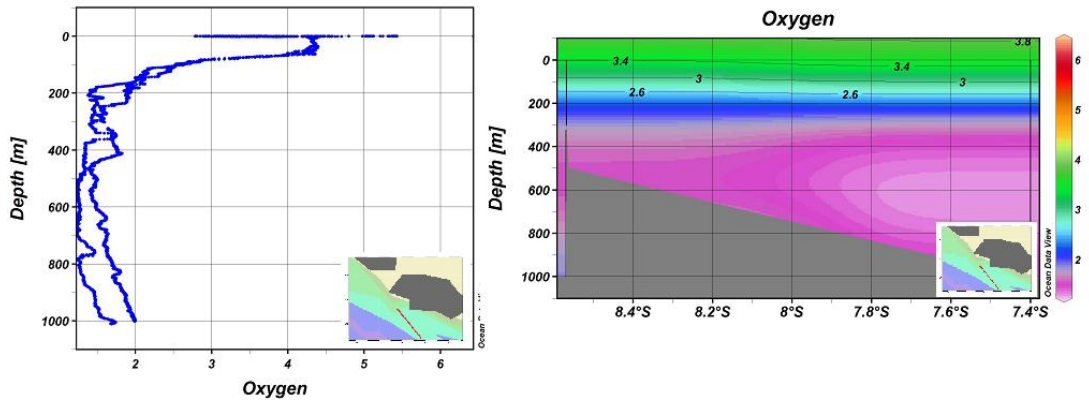
Gambar 3a.1 Perbesaran Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Temperatur di selatan Jawa Barat



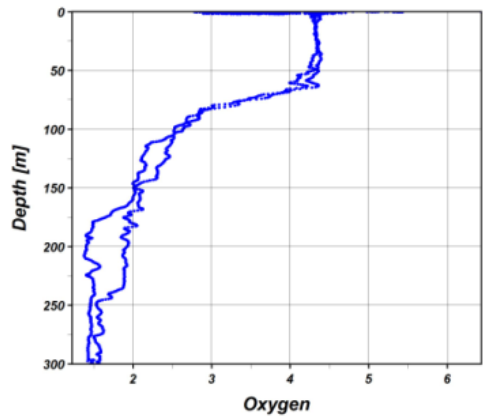
Gambar 3b. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Salinitas di selatan Jawa Barat



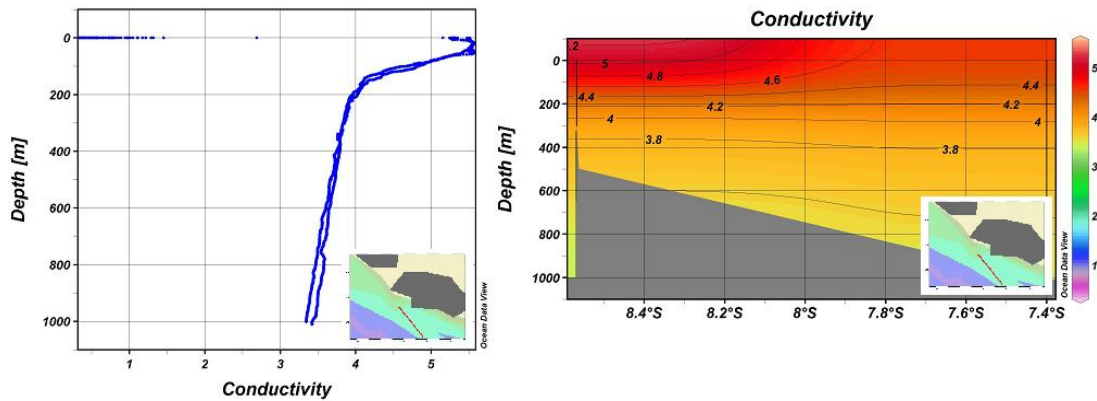
Gambar 3b.1 Perbesaran Profil Sebaran Menegak Salinitas di selatan Jawa Barat



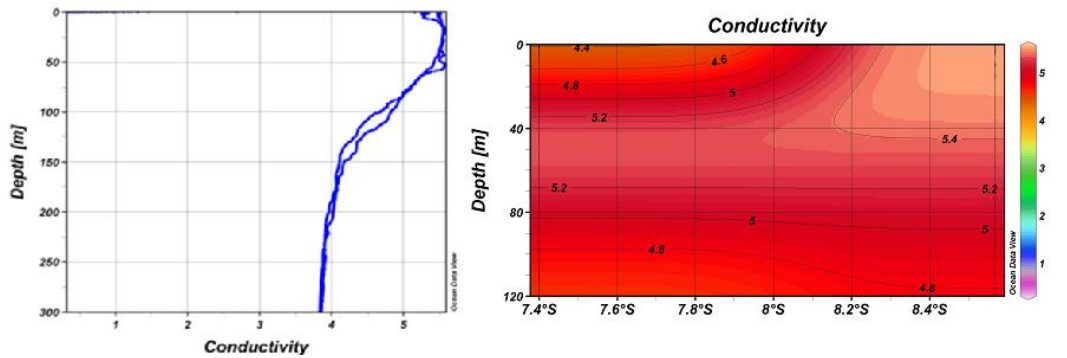
Gambar 3c. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Oksigen di selatan Jawa Barat



Gambar 3c.1 Perbesaran Profil Sebaran Menegak Oksigen di selatan Jawa Barat



Gambar 3d. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Konduktivitas di selatan Jawa Barat



Gambar 3d.1 Perbesaran Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Konduktivitas di selatan Jawa Barat

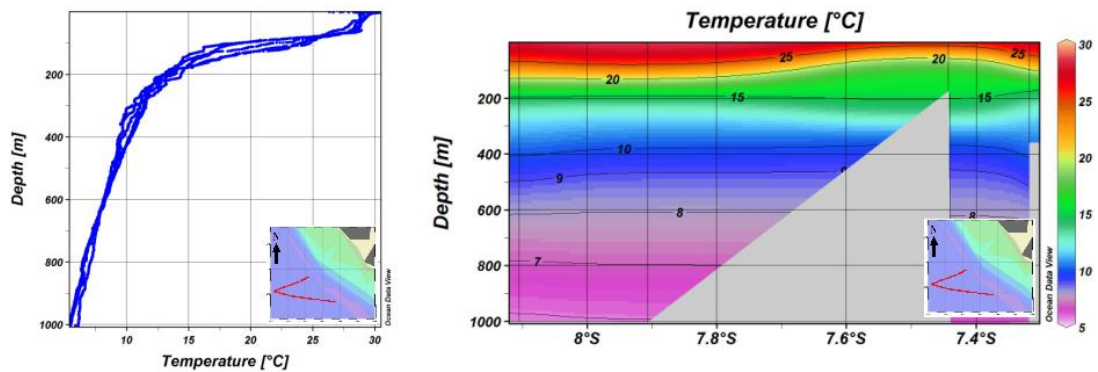
Suhu permukaan di selatan Jawa Barat pada musim barat berkisar antara 28°C-30°C (lihat perbesaran profil menegak pada Gambar 3a.1 kanan). Profil menegak suhu (pada Gambar 3a kiri dan 3a.1 kiri) menunjukkan bahwa laut terstratifikasi termal karena suhu menurun terhadap kedalaman. Tebal lapisan homogen di selatan Jawa Barat adalah antara 50 sampai 60 meter. Kemudian terlihat adanya kenaikan isothermal saat menjauhi daerah pantai (menuju 8,4°LS). Kenaikan ini disebabkan topografi dasar laut (*sill*).

Pada Gambar 3b kiri, variasi salinitas di selatan Jawa Barat membesar dari daerah permukaan hingga kedalaman 200 meter dan tidak tampak adanya lapisan homogen untuk salinitas di selatan Jawa Barat ini. Hasil serupa dijumpai pula oleh Rahmawati (2004). Menurutnya, berdasarkan Wyrki (1961), distribusi salinitas rumit dan memiliki variasi yang besar karena adanya interaksi dari berbagai faktor seperti curah hujan, evaporasi, *runoff*, dan faktor geografi laut.

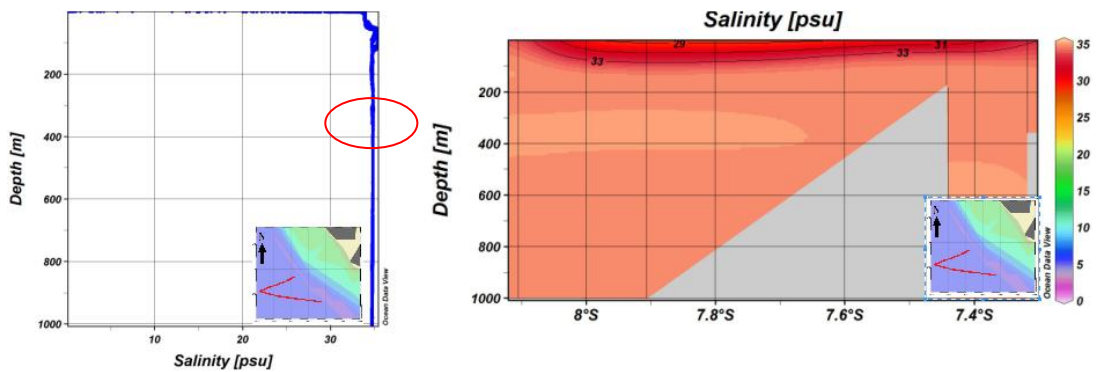
Mengikuti kestabilan suhu dan salinitas, profil oksigen terlarut (Gambar 3c) pun terstratifikasi yaitu bernilai maksimum di permukaan karena adanya pertukaran langsung dengan

atmosfer dan bernilai minimum di 500-900 meter akibat respirasi biota laut, serta kembali meningkat akibat bertambahnya tekanan.

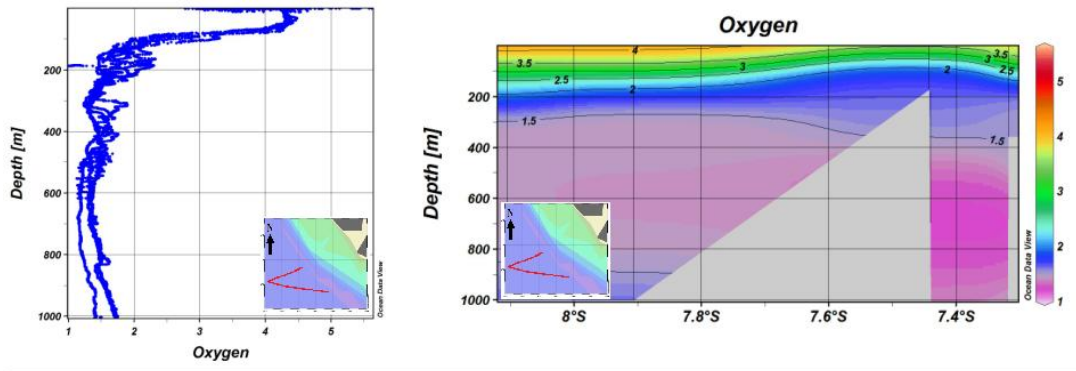
Profil vertikal konduktivitas (Gambar 3d) menunjukkan bahwa pada saat salinitas tinggi, konduktivitas tinggi dan saat salinitas rendah, konduktivitas rendah. Perbesaran pada profil vertikal konduktivitas (Gambar 3d.1) memperlihatkan ada pergerakan ion ke arah barat daya. Dengan kata lain ada arus yang bergerak dari timur ke barat. Arus ini kemungkinan adalah Arus Katulistiwa Selatan (*South Equatorial Current*) (Rahmawati, 2004).



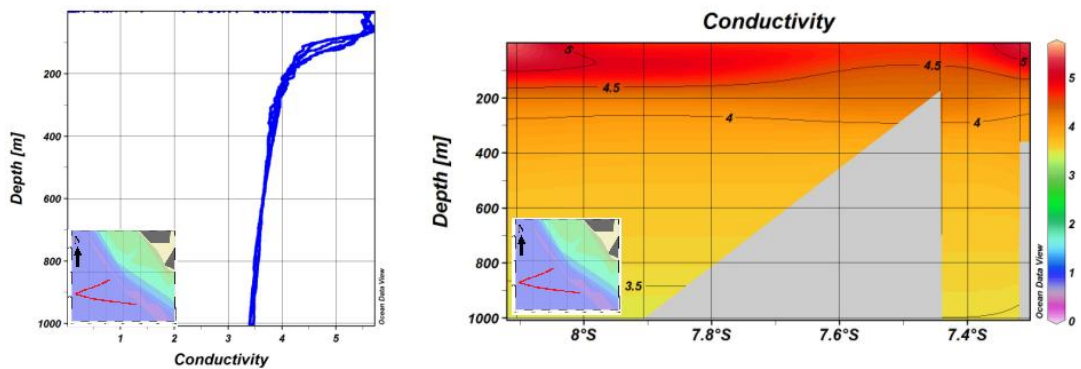
Gambar 4a. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Temperatur di Samudera Hindia



Gambar 4b. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Salinitas di Samudera Hindia bagian Timur



Gambar 4c. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Oksigen di Samudera Hindia



Gambar 4d. Profil Sebaran Menegak dan Vertikal Konduktivitas di Samudera Hindia bagian timur

Secara menegak, (Gambar 4a kiri), variasi suhu di Samudera Hindia bagian timur terstratifikasi secara termal karena nilai suhu berkurang seiring bertambahnya kedalaman. Namun bila dilihat secara melintang (Gambar 4a kanan), terlihat adanya kenaikan isoterm di atas suhu 15°C dan penurunan isoterm 15°C hingga 11°C (kedalaman 300 meter) kemudian sedikit kenaikan isoterm untuk suhu di bawah 11°C. Kedalaman 300 meter merupakan batas bawah lapisan termoklin. Dengan kata lain, terjadi penurunan lapisan termoklin pada akhir musim Barat ini. Penurunan lapisan termoklin disebabkan oleh penumpukan massa air akibat transpor Ekman karena titik stasiun pengamatan berada di daerah putaran antisislonik.

Seperti di selatan Jawa Barat, di Samudera Hindia bagian timur ini juga tidak tampak adanya lapisan homogen. Namun berbeda dengan lapisan dalam selatan Jawa Barat, pada kedalaman 300-450 meter (7,65° LS - 8° LS) dan di kedalaman 500-800 meter (7,4° LS), merupakan lapisan pertengahan, nilai salinitas menjadi tinggi. Ini berarti ada massa air ini berarti ada massa air pertengahan yang memiliki kisaran salinitas 34,8–34,89 psu bergerak menuju timur. Menurut

Wyrski (1961) dalam Rahmawati (2004) lapisan ini mirip dengan karakter dari *Persian Gulf Intermediate Water* dengan ciri salinitas 34,6–35,1 psu dan bersuhu 8-14°C sehingga diperkirakan bahwa ini adalah massa air pertengahan Teluk Persia. Begitu pula di kedalaman 500-800 meter tersebut, karena menurut Emery (2003), *Red Sea-Persian Gulf Intermediate Water* (RSPGIW) memiliki karakter massa air yaitu bersuhu 5-14°C dan bersalinitas 34,8-35,4 psu. Namun untuk mengidentifikasinya secara pasti dibutuhkan diagram temperatur dan salinitas.

Profil oksigen (lihat pada Gambar 4c) memiliki stratifikasi yang sesuai dengan teori dan bernilai tidak jauh berbeda dengan kandungan oksigen terlarut maksimum di Selat Sunda dan selatan Jawa Barat yaitu 4 mg/L.

Untuk profil konduktivitas di Samudera Hindia bagian timur juga tidak berbeda dengan profil salinitasnya.

KESIMPULAN

- Pada monsun barat ada masukan massa air Laut Jawa yang bersuhu tinggi dan bersalinitas rendah memasuki Selat Sunda menuju Samudera Hindia.
- Ketebalan lapisan homogen di Selat Sunda, selatan Jawa Barat, dan Samudera Hindia besarnya hampir sama yaitu 70 meter, 50-55 meter, dan 55-60 meter untuk masing-masing daerah.
- Pada musim Barat, terjadi *downwelling* di Samudera Hindia bagian timur yang ditunjukkan oleh kenaikan lapisan termoklin
- Kandungan oksigen terlarut maksimum di Selat Sunda, selatan Jawa, dan Samudera Hindia bagian timur adalah 4 mg/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Emery, W.J. 2003. *Ocean Circulation Water Types and Water Masses*. University of Colorado, Boulder, USA.
- Hadi, S. 2009. Slide Kuliah Pendahuluan Oseanografi. Program Studi Oseanografi. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Hadi, S., dan I. M. Radjawane. 2009. *Arus Laut*. Program Studi Oseanografi. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Implementation Arrangment for the Research Program. 2011. *The Java Upwelling Variations Observation*. Diambil dari website <http://e-jelita.com/upload/IA%20FIO%202011.pdf>
- Nurdjaman, S. 2011. Slide Kuliah Oseanografi Biologi Kimia. Program Studi Oseanografi. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Putri, M.R. 2005. *Study of Ocean Climate Variability (1959-2002) in the Eastern Indian Ocean, Java Sea and Sunda Strait using the HAMBURG Shelf Ocean Model*. Disertasi Doktor. Universitas Hamburg.
- Rahmawati, H. 2004. *Studi Karakteristik Massa Air dan Arus Geostropik di Perairan Selatan Jawa Barat pada Bulan Desember 2001*. Skripsi. Program Studi Ilmu Kelautan. Fakultas Perikanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Triyulianti, I., D. Wijaya, W. Era, T. Arief, N. Widagti, P. Dipo, M. Trenggono. 2012. *Distribusi Vertikal pH dan Alkalinitas Perairan Selatan Jawa dan Samudera Hindia*. Dipresentasikan pada Seminar Nasional Kelautan di Universitas Gajah Mada 2012.
- Wyrtki, K. 1961. *Scientific Results of Marine Investigations of the South China Sea and the Gulf of Thailand 1959-1961. Naga Report, 2*. University of California, Scripps Institute of Oceanography, La Jolla, California.
- Yuliananingrum, T.L.P. 2012. *Kondisi Parameter Oseanografi di Selat Sunda dan selatan Jawa Barat*. Laporan Kerja Praktik. Program Studi Oseanografi. Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Apakah yang Mendorong Variabilitas Arus Lintas Indonesia dalam Skala *Glacial/Interglacial*?

Satria Wicaksana Adhipurusa

Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

ABSTRAK

Arus Lintas Indonesia mentransfer aliran termoklin dingin dan bersalinitas rendah dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia dan sebagai bagian integral dari *Meridional Overturning Circulation* yang mentransfer panas ke lintang tinggi. Arus ini memiliki dampak penting terhadap sirkulasi lautan dan atmosfer dalam skala lokal, regional maupun global. Pendorong, karakteristik, serta variabilitasnya dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya topografi, iklim, dan hidrografi. Sedikit diketahui mengenai variabilitas Arus Lintas Indonesia skala *interglacial/glacial*. Beberapa penelitian menyebutkan penyebabnya diantaranya kekuatan dari *Meridional Overturning Circulation*, perubahan topografi, dan variasi sistem monsun Asia Australia. Pemahaman lebih mendalam diharapkan dapat menjawab pertanyaan dibalik perubahan iklim masa lampau.

Kata kunci: Arus Lintas Indonesia, *Glacial/Interglacial*, *Meridional Overturning Circulation*, Monsoon Asia Australia, Topografi

ABSTRACT

The Indonesian Throughflow transfers cool and fresh thermocline flow from Pacific Ocean into Indian Ocean and as an integral part of Meridional Overturning Circulation which transfers heat to high latitude. This throughflow has important impact to ocean and atmosphere circulation on the local, regional, and global scale. The driver behind its characteristic and variability are influenced by various factors, which are topography, climate, and hydrography. Little is known about Indonesia Throughflow variability in glacial/interglacial scale. Some research showed the cause are the strength of Meridional Overturning Circulation, changes in topography, and variety of Asian Australian Monsoon system. A deeper understanding is hoped to answer questions behind climate change in the past.

Keywords: *Indonesian Throughflow, Glacial/Interglacial, Meridional Overturning Circulation, Asian Australian Monsoon, Topography*

Pendahuluan

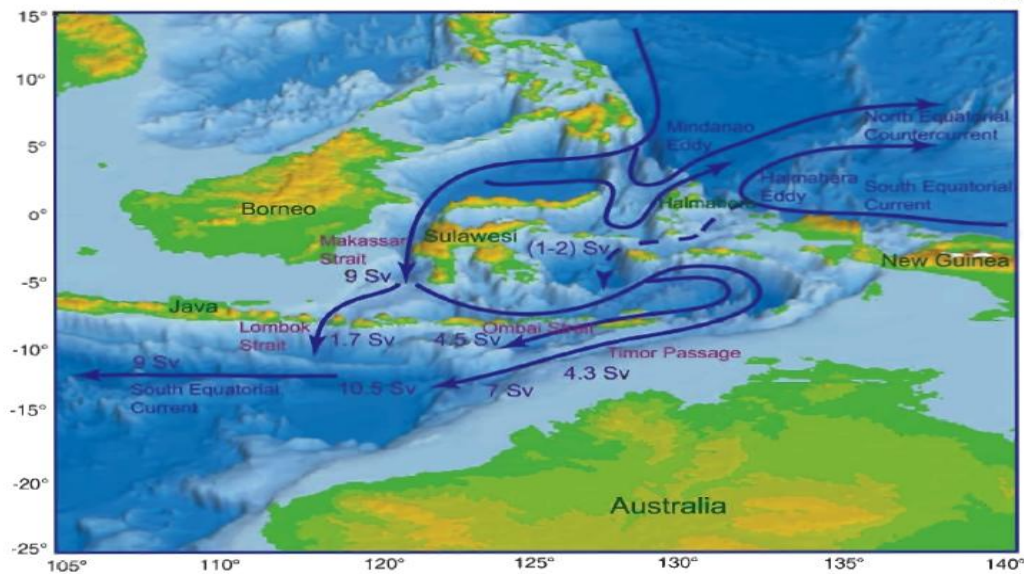
Arus Lintas Indonesia (Arlindo) menghubungkan dua basin samudera di lintang tropis yang mentranspor ± 15 Sv ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) air hangat bersalinitas rendah dengan termoklin dingin dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia. (Godfrey, 1996; Sprintal *et al.*, 2009; Tillinger, 2011). Aliran tersebut kemudian mengalir dalam batimetri kompleks lautan Indonesia mengalami pencampuran vertikal kuat dan input panas serta air bersalinitas rendah membentuk karakteristik unik *Indonesian Throughflow Water* (ITW). Arus ini merupakan bagian integral dari *Meridional Overturning Circulation* (MOC) dalam skala global yang mentransport 5,7 Sv air hangat ke 20°LU Samudera Atlantik. Kemudian dalam skala regional, arlindo dipengaruhi oleh *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). Sebuah simulasi model oleh Santoso (2011) memperlihatkan dengan ditutup dan dibukanya gerbang Indonesia, menghasilkan kecenderungan iklim rata-rata menuju *El-Nino*, menghilangkan variasi dekadal ENSO, pergeseran anomali SST ke arah timur, dan mengurangi gradien termal Samudera Pasifik. Terakhir dalam skala lokal arus tersebut dipengaruhi sistem monsun dan topografi, serta memperkuat *South Equatorial Current* (SEC) dan Arus Leeuwin yang berdampak terhadap neraca panas Samudera Hindia. Walaupun diketahui pentingnya Arlindo, sedikit diketahui mengenai respon Arlindo terhadap perubahan iklim di masa lampau. Berbagai penelitian menyebutkan bahwa siklus *glacial/interglacial* menyebabkan dampak yang cukup besar terhadap variabilitas Arlindo baik dari segi intensitas maupun profil hidrografinya. Berikut akan dibahas mengenai oseanografi fisika dari Arlindo, kemudian bagian selanjutnya mengenai variabilitas jangka panjang arlindo, terakhir adalah kesimpulan dan lingkup penelitian selanjutnya.

Oseanografi Fisika dari Arus Lintas Indonesia

Arlindo mentranspor volume, panas, dan air bersalinitas rendah yang didorong oleh perbedaan tekanan mengakibatkan perbedaan muka air laut antara Davao (Filipina, Samudera Pasifik Barat) dengan Darwin (Australia, Samudera Hindia Timur) (Wrytki 1961;1987 dalam Tillinger 2011). Akan tetapi dikarenakan hasil rekaman muka air laut di Davao terganggu oleh fluktuasi sinyal frekuensi tinggi dari Arus Mindanao dan sekitar ekuator maka besar transport belum bisa ditentukan. Godfrey (1996) , mencoba

menghitung transport dengan integrasi tertutup dari *stress* angin Samudera Pasifik meliputi Australia dan Selandia Baru dinamakan teorema *Island Rule* yang menghasilkan 16 ± 4 Sv. Estimasi tersebut berbeda dengan pengukuran lapangan sebesar 10-12 Sv, sehingga Wajsowich (1993a) dalam Godfrey (1996) memodifikasi *Island Rule* dengan memperhitungkan topografi dasar dan gaya friksi, sehingga ditemukan perumusan dinamakan *Joint Effect of Baroclinicity* (JEBAR). JEBAR menyatakan bahwa perubahan gradient topografi atas *sill* Indonesia didorong oleh perbedaan tekanan pada Pasifik (hangat) dan Hindia (dingin), dapat menimbulkan peningkatan transpor. Andersson dan Stigebrandt (2004) dalam Zuvela (2006) melakukan pendekatan yang berbeda, yaitu transpor arlindo dipengaruhi oleh gradient densitas dan kedalaman perairan sehingga dapat dihitung melalui perhitungan geostropik biasa menghasilkan ~ 10 Sv. Akan tetapi perhitungan tersebut bergantung kepada lebar dan kedalaman perairan, serta referensi salinitas dan temperatur.

Sumber utama dari Arlindo (Gambar 1) adalah massa air termoklin atas dan permukaan Samudera Pasifik Utara, yang berputar ke Timur di Mindanao bergabung dengan *North Equatorial Counter Current* (NECC) membentuk *Mindanao Eddy*, sebagian mengalir melalui Selat Makassar (lebar 45 km, kedalaman *sill* 650 m) disebut jalur barat, dengan transpor volume sebesar 11,6 Sv dan *transport weighted temperature* (TWT) sebesar $15,2^{\circ}\text{C}$. Sumber lainnya adalah massa air intermediate dan dalam dari Samudera Pasifik Selatan yang juga berputar ke arah Timur bergabung dengan NECC membentuk *Halmahera Eddy*, sebagian mengalir melalui Jalur Lifamatola (lebar 10 km, kedalaman *sill* ~ 2000 m) dengan transpor volume sebesar 2,7 Sv dan TWT sebesar $3,2^{\circ}\text{C}$. Arus dari jalur barat, sebagian keluar ke Samudera Hindia melalui Selat Lombok (lebar 36 km, kedalaman *sill* 300 m), dengan transpor volume sebesar 2.6 Sv dan TWT sebesar $21,5^{\circ}\text{C}$. Sebagian lagi berbelok ke Laut Banda berkonvergensi dengan aliran dari Jalur Lifamatola atau jalur timur, keluar melalui Selat Ombai (lebar 35 km dan kedalaman *sill* 3250) dengan transpor volume sebesar 4,9 Sv dan TWT sebesar $15,2^{\circ}\text{C}$. Satunya lagi keluar melalui Selat Timor (lebar 100 km, kedalaman 1250 m timur menuju 1890 m barat, terdiri dari Timor Ashmore, Timor Roti, *Sill* Timor, dan *Slope* Selatan Timor) dengan transpor volume sebesar 7,5 Sv dan TWT sebesar $17,8^{\circ}\text{C}$ (Tillinger, 2011; Kuhnt *et al.*, 2004; Sprintall *et al.*, 2009). Intisari mengenai transpor tiap jalur dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Jalur Arlindo (Sumber: Kuhnt *et al.*, 2004)

Tabel 1. Transpor panas dan volume tiap jalur Arlindo (l: lebar dan d: kedalaman) (Sumber: Tillinger, 2011)

Nama Jalur	Deskripsi	Tranpor Volume	Transpor Panas
Selat Makassar	l: 45 km, d: 650 m	11,6 Sv	15,2 °C
Jalur Lifamatola	l: 10 km, d: ~2000m	2,7 Sv	3,2 °C
Selat Lombok	l: 36 km, d: 300 m	2,6 Sv	21,5 °C
Selat Ombai	l: 35 km, d: 3250	4,9 Sv	15,2 °C
Selat Timor	l: 100 km, d: 1250 - 1890	7,5 Sv	17,8 °C

Dalam jangka waktu pendek, arlindo bervariasi secara musiman, yaitu secara keseluruhan transpor meningkat pada monsun tenggara (Juli) dan terintensifikasi di permukaan pada jalur masuk akibat transpor ekman menyebabkan turunnya permukaan laut selatan Nusa Tenggara dan divergensi Laut Banda. Pada monsun barat laut (Februari), aliran dari laut Cina Selatan (2,1 Sv dengan TWT sebesar 2,1°C menurut simulasi model) menciptakan tumpukan air bersalinitas rendah di selatan Makassar yang menghalangi aliran permukaan, menyebabkan transpor menurun dan terintensifikasi termoklin. Transpor pada Selat Ombai dan Lombok terjadi pemutarbalikan lemah, dan transpor pada Selat Timor terelaksasi. Variasi antarmusim atau pada transisi monsun, transpor permukaan

sampai 300 m pada Selat Lombok, ~700 m pada Selat Ombai, dan sub-termoklin-*intermediate* serta di bawah 1400 m pada Selat Timor terjadi pemutarbalikan akibat eksitasi gelombang Kelvin dari Samudera Hindia akibat *westerly wind burst*. (Sprintall *et al.*, 2009; Tillinger, 2011). Dalam variasi antar tahunan dihubungkan *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO) dimana menunjukkan maksimum pada *La-Nina* dan minimum pada *El-Nino* dengan amplitudo puncak ke puncak ~5 Sv (Meyers, 1996 dalam Zuvella, 2006). Namun apakah variasi dalam skala *glacial/interglacial* dan apakah pendorongnya?

Variabilitas Arlindo dalam *Glacial/Interglacial*

Skala waktu *glacial/interglacial* merupakan skala waktu 100.000 tahunan, yang ditandai dengan kenaikan/penurunan muka air laut akibat ekstensi/kemunduran lapisan es benua, glacier, dan kutub (Imbie *et al.*, 1979). Sejauh ini berbagai studi (Zuvella, 2006; Xu *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2008; Durkop *et al.*, 2007; Zuraida *et al.*, 2009; Holbourn *et al.*, 2005) telah diketahui bahwa terdapat tiga faktor pendorong variabilitas Arlindo dalam skala waktu ini, yaitu kekuatan *Meridional Overturning Circulation*, perubahan topografi, dan variasi sistem monsun Asia-Australia.

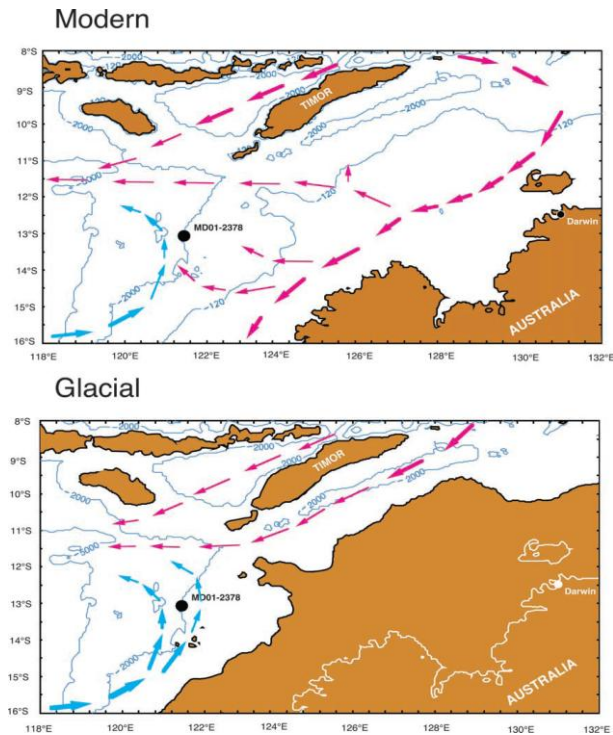
Kekuatan *Meridional Overturning Circulation*

Meridional Overturning Circulation (MOC) sensitif terhadap air bersalinitas rendah, sehingga perturbasi sebesar 0.02 – 0.04 Sv dapat mereduksi transpor sebesar 2-5 Sv dan jika bertahan lebih dari 100 tahun dapat mematikan MOC sepenuhnya. Perturbasi ini terutama disebabkan oleh pencairan lapisan es Atlantik Utara maupun perubahan pada ENSO (Schmitner dan Clement, 2002). Pada penyebab yang pertama, terjadi setiap kejadian *Heinrich* pada *glacial* terakhir atau MIS 2-4 pada ~11.000 – 73.000 *before present* (BP). Kejadian *Heinrich* sendiri ialah peristiwa meluncurnya bongkahan es dari selat Hudson ketika pendinginan maksimum yang terjadi 6 kali pada fluktuasi pemanasan/pendinginan 1000 tahunan *Dasgaard – Oeschger* (Hemming, 2004; Broecker, 1994). Sehingga ketika kejadian *Heinrich*, intensitas arlindo berkurang ditunjukkan dengan suhu termoklin yang menurun dan kedalamannya yang bertambah di Selat Timor akibat berkurangnya input aliran termoklin dingin dari Samudera Pasifik (Zuraida *et al.*, 2009).

Pada penyebab yang kedua dikarenakan ketika *El-Nino* memungkinkan terjadinya transpor uap air antara Samudera Atlantik dengan Pasifik Timur, sehingga meningkatkan salinitas Atlantik Utara dan memperkuat MOC. Maka ketika *La-Nina*, hal yang sebaliknya terjadi sehingga MOC melemah.

Perubahan Topografi

Perubahan topografi terkait dengan penurunan muka laut -120 m pada *glacial* yang menyebabkan paparan Sunda dan Sahul terekspose sehingga mengakibatkan tranpor Arlindo berkonsentrasi di Selat Timor yang paling dalam dan luas. Koneksi Laut Cina Selatan dengan Laut Jawa pada Selat Karimata tertutup sehingga tumpukan air bersalinitas rendah di Selatan Makassar hilang dan aliran menjadi terintensifikasi di permukaan. Kenaikan muka laut pada *interglacial* hanya sebesar ~30-40 m (Clark *et al.*, 2004) dapat menyebabkan terbukanya kembali koneksi laut di Selat Karimata yang memungkinkan aliran air bersalinitas rendah dari Laut Cina Selatan menuju Laut Jawa sampai selatan Makassar. Tumpukan air bersalinitas rendah tersebut menghalangi aliran permukaan, sehingga profil Arlindo mirip dengan masa sekarang yaitu terintensifikasi termoklin. Fenomena tersebut dapat ditunjukkan dari mendangkal dan mendinginnya termoklin ketika Arlindo menguat pada *interglacial* di Selat Timor. Kondisi hidrografi jalur keluar Arlindo pun berbeda dimana ketika Arlindo melemah, suhu permukaan laut (SPL) menurun, salinitas dan produktifitas meningkat akibat intrusi dari *West Australian Current* (WAC) dan berkurangnya aliran oligotropik dari ITW. (Zuvela *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2008; Kuhnt *et al.*, 2004; Holbourn *et al.*, 2005).

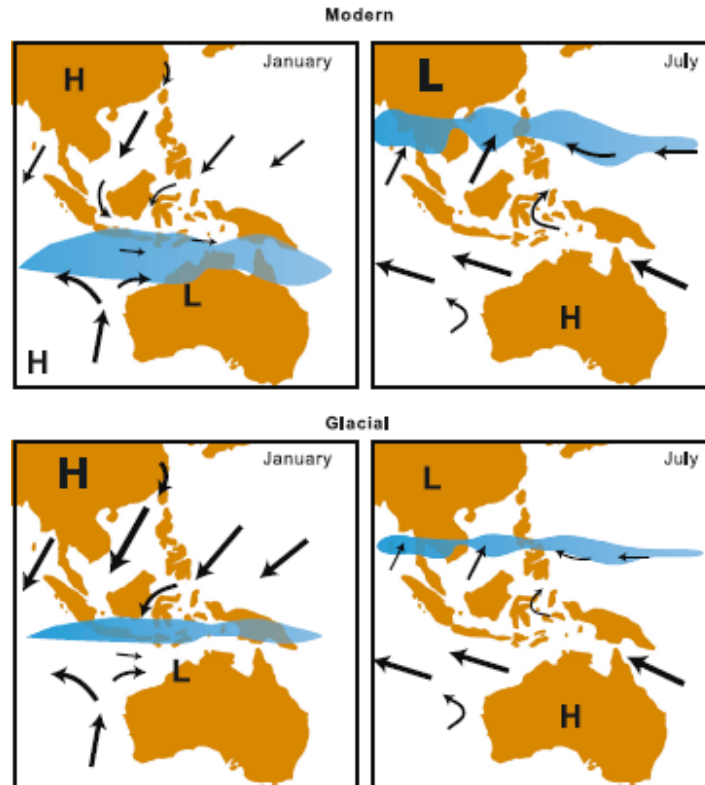


Gambar 2. Perubahan topografi pada *glacial* (bawah), dimana arlindo (merah) yang mendominasi *West Australian Current* (WAC) (biru), berkurang dibandingkan dengan masa sekarang (atas) (Sumber: Holbourn *et al.*, 2005)

Variasi Sistem Munson Asia-Australia

Variasi sistem munson Asia-Australia diakibatkan variasi dari insolasi difasakan dengan sabuk presesi (23.000 tahun), dimana insolasi maksimum musim panas yang silih berganti antara 65° S (21 Desember) dan 65° N (21 Juni) terutama pada deglasiasi (terminasi). Hal tersebut mengakibatkan pergeseran *Intertropical Convergence Zone* (ITCZ) secara keseluruhan ke utara/selatan sehingga terjadi kondisi permanen munson barat laut/tenggara yang akan berdampak terhadap transpor dan hidrografi arlindo. Pada kondisi permanen munson tenggara, keadaan mirip *La-Nina* dialami lautan Indonesia sehingga menaikkan SPL dan intensitas arlindo, sebaliknya pada kondisi permanen munson barat laut menyebabkan keadaan mirip *El-Nino* menyebabkan SPL dingin dan intensitas arlindo turun (Zuraida *et al.*, 2009; Durkop *et al.*, 2007; Holbourn *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2008, Holbourn *et al.*, 2011). Akan tetapi arlindo mendapat perlakuan yang berbedadibandingkan dengan masa sekarang pada *glacial*, dimana ketika munson tenggara transpor menjadi terhambat akibat penumpukan air permukaan di selatan Selat Makassar

karena tertutupnya laut Jawa, sebaliknya transpor terintensifikasi pada monsun barat laut akibat absennya kolam apung selatan Selat Makassar. (Zuvela *et al.*, 2006, Kuhnt *et al.*, 2004).



Gambar 3. Perbedaan pola monsun Asia-Australia pada *glacial* (bawah) masa sekarang (atas). Daerah berwarna biru adalah posisi ITCZ (Sumber: Xu *et al.*, 2006).

Kesimpulan dan Lingkup untuk Penelitian Selanjutnya

Dapat disimpulkan bahwa variabilitas jangka panjang Arlindo dipengaruhi oleh kekuatan MOC, yaitu ketika MOC melemah maka Arlindo ikut melemah. Selanjutnya perubahan topografi akibat kenaikan/penurunan muka laut dapat menyebabkan Arlindo berubah dari terintensifikasi permukaan, terfokus pada selat Timor, bersalinitas tinggi, termoklin dalam dan hangat serta SPL dingin (*glacial*) menjadi terintensifikasi termoklin, tersebar merata pada semua jalur keluar, bersalinitas rendah, termoklin dangkal dan dingin, serta SPL hangat (*interglacial*). Kemudian variasi sistem monsun Asia-Australia (peridisitas 23.000 tahun) akibat *forcing* insolasi menyebabkan kondisi permanen monsun tenggara (keadaan mirip *El-Nino*) mengakibatkan arlindo melemah dan SPL hangat sebaliknya kondisi

permanen monsoon barat laut (keadaan mirip *La-Nina*) mengakibatkan arlindo menguat dan SPL dingin

Arlindo merupakan bagian penting dari transfer adveksi panas ke lintang tinggi untuk mempertahankan bumi agar tetap hangat. Paper ini ditujukan untuk membahas mengenai variabilitas arlindo dalam skala waktu panjang. Sehingga dengan memahami lebih baik dapat mungkin dapat menjawab pertanyaan dibalik perubahan iklim jangka panjang masa lampau untuk memahami dan memprediksi perubahan iklim yang terjadi di masa sekarang. Penelitian paleoseanografi dalam menyingkap sejarah Arlindo banyak dilakukan dengan merekonstruksi kondisi oseanografi melalui foraminifera pada *core* (inti) sedimen bawah laut di Selat Timor dan Makassar, tetapi belum pernah dilakukan di Selat Ombai, Lombok, maupun jalur Lifamatola, walaupun studi model untuk semua jalur sudah dilakukan oleh Zuvela (2006). Hal ini dapat dijadikan tujuan penelitian selanjutnya, berikut mungkin adalah kecocokan antara hasil rekonstruksi dengan model.

Daftar Pustaka

- A. Schmittner dan A.C. Clement (2002) “*Sensitivity of the Thermohaline Circulation to Tropical and High Latitude Freshwater Forcing during the Last Glacial/Interglacial Cycle*”. *Paleoceanography*, **18**, 1017, doi: 10.1029/2000PA000591.
- Broecker, W.S. (1994) “*Massive Iceberg discharges as triggers for global climate change*”. *Nature*, **372**, 421-424.
- Clark, P.U., A.M. McCabe, A.C. Mix, A.J. Weaver (2004) “*Rapid Rise of Sea Level 19.000 Years Ago and Its Global Implications*”. *Science*, **304**, 1141-1144.
- Durkop, A., A. Holbourn, W. Kuhnt, R. Zuraida, N. Andersen, P.M. Grootes (2007) “*Centennial-scale climate variability in the Timor Sea during Marine Isotope Stage 3*”. *Marine Micropaleontology, Elsevier*, **66**, 208-221
- Godfrey, J.S. (1996) “*The Effect of the Indonesian throughflow on ocean circulation and heat exchange with the atmosphere: A review*”. *Journal of Geophysical Research*, **101**, 12,217-12,237.

- Hemming, S.R. (2004) “*Heinrich Events: Massive Late Pleistocene Detritus Layer of The North Atlantic and Their Global Climate Imprint*”. *Rev. Geophys.*, **42**, RG1005, doi: 10.1029/2003RG000128.
- Holbourn, A., W. Kuhnt, H. Kawamura, Z. Jian, P. Grootes, H. Erlenkeuser, dan J. Xu. (2005) “*Orbitally Paced Paleoproductivity Variations in Timor Sea and Indonesian Throughflow Variability during the Last 460 kyr*”. *Paleoceanography*, **20**, PA3002, doi:10.1029/2004PA001094.
- Imbrie, J. dan Imbrie, K.P. (1979) “*Ice Ages: Solving the Mystery*”. *Short Hills NJ, Enslow Publishers*, ISBN 978-0-89490-015-0.
- Santoso, A., W. Cai, M.H. England dan S.J. Phipps. 2011. “*The Role of Indonesian Throughflow on ENSO Dynamics in a Coupled Climate Model*”. *Journal of Climate, American Meteorological Society*, **24**, 585-601
- Sprintall, J., S.E. Wijffels, R.M. Molcard, I. Jaya (2009) “*Direct Estimates of the Indonesian Throughflow Entering the Indian Ocean: 2004-2006*”. *Journal of Geophysical Research*, AGU **114**, C07001, doi: 10. 1029/2008JC005257.
- Tillinger, D. (2011) “*Physical Oceanography of the Present Day Indonesian Throughflow*”. *The SE Asian Gateway: History and Tectonics of the Australia-Asia Collision. Geological Society*, **355**, (eds Hall R., Cottam, M.A., dan Wilson, M.E.J), 267-281, doi: 10.1144/SP355.13.
- W. Kuhnt dan A. Holbourn, R. Hall, M. Zuvela, K. Rolf. (2004) “*Neogene History of the Indonesian Throughflow*”. *Geophysical Monograph Series, AGU*, **149**, 299-318, doi: 10.1029/149GM16.
- Xu, J., A. Holbourn, W. Kuhnt, Z. Jian, H. Kawamura (2008) “*Changes in the thermocline structure of the Indonesian outflow during Termination I and II*”. *Earth and Planetary Science Letters, Elsevier*, **273**, 152-162, doi: 10.1016/j.epsl.2008.06.029
- Xu, J., W. Kuhnt, A. Holbourn, N. Andersen, dan G. Bartoli (2006) “*Changes in the vertical profile of the Indonesian Throughflow during Termination II: Evidence from the Timor Sea*”. *Paleoceanography*: **21**, PA4202, doi: 10.1029/2006PA001278.

Zuraida, R., A. Holbourn, D. Nurnberg, W. Kuhnt, A. Dürkop, A. Erichsen (2009)
“*Evidence for Indonesian Throughflow slowdown during Heinrich events 3-5*”.
Paleoceanography: **24**, PA2205, doi:10.1029/2008PA001653

Zuvela, M., (2006) “*Modelling of the Indonesian Throughflow on Glacial/Interglacial Time Scales*” *Dissertation, Christian Albrechts Universität.*

KONDISI KEASAMAN (pH) LAUT INDONESIA

Mediana Safitri* dan Mutiara R. Putri

*Kelompok Keahlian Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132; email: mediana_safitri@ymail.com
Bandung, 40135*

ABSTRAK

Studi variasi keasaman (pH) di permukaan laut perairan Indonesia dikaji dengan melakukan perhitungan pH setiap bulan pada periode 1992-2009. Kondisi temperatur, salinitas, serta data nutrisi rata-rata bulanan selama 18 tahun digunakan untuk menghitung pH dengan menggunakan algoritma kesetimbangan karbon air laut dan persamaan pada *co2calc_SWS.f* dalam model karbon laut *Ocean-Carbon Model Intercomparison Project version.3* (OCMIP-3). Data yang digunakan yaitu data temperatur dan salinitas yang berasal dari model hidrodinamika *HAMBURG Shelf Ocean Model* (HAMSOM) yang bervariasi terhadap musim serta data alkalinitas dan *dissolved inorganic carbon* (DIC) yang berasal dari WOA09 (*World Ocean Atlas 2009*). Hasil perhitungan pH menunjukkan secara umum variasi pH perairan Indonesia selama 18 tahun ini tidak banyak mengalami perubahan, yaitu 6.86×10^{-6} satuan pH. Rata-rata *trend* pH di daerah Indonesia bagian barat naik sebesar 7.65×10^{-7} satuan dan di daerah Indonesia bagian timur turun sebesar 5×10^{-7} satuan. Dari area tinjauan dalam penelitian ini rata-rata nilai pH saat musim barat sebesar 7.849 lebih tinggi 0.005 satuan dibandingkan saat musim timur (7.844). Hubungan kejadian *El Nino/La Nina Southern Oscillation* (ENSO) memberikan nilai minimum dari rata-ratanya bertepatan dengan terjadinya El Nino, yaitu di Selat Karimata, Laut Jawa, Selat Makassar, Selatan Bali dan Lombok, serta Laut Timor.

Kata kunci: Keasaman (pH) Laut Indonesia, Model Karbon Laut OCMIP, ENSO, Perubahan Iklim.

ABSTRACT

*Study the variation of ocean acidification (pH) at surface level of Indonesian seas has been studied by calculating the monthly average pH during 1992-2009. Monthly average of temperature, salinity, alkalinity and dissolved inorganic carbon (DIC) during 18 years are used to calculate the pH by using an algorithm of equilibrium carbon in seawater and the equation from *co2calc_SWS.f* in *Ocean Carbon Model Intercomparison Project version.3* (OCMIP-3). The input data for the model, temperature and salinity are derived from hydrodynamic model of HAMSOM which varies with the seasons, while alkalinity and DIC are derived from WOA09 (*World Ocean Atlas 2009*). The calculation shows general variation of pH in Indonesian seas for 18 years is not much changed, that is 6.86×10^{-6} pH units. Average of pH trend in the western region of Indonesian seas increased by 7.65×10^{-7} units and in the eastern region of Indonesian seas decreased by 5×10^{-7} units. The average of pH value at Indonesian seas during west monsoon is about 7.849, is higher 0.005 units than east monsoon (7.844). The relationship with El Nino/La Nina Southern Oscillation (ENSO) gives the minimum value is reaches at El Nino, which is in the Karimata Strait, Java Sea, Makassar Strait, South Bali and Lombok, and Timor Sea.*

Keywords: Ocean Acidification, Indonesian Waters, Ocean Carbon Model (OCMIP), ENSO, Climate Change.

Pendahuluan

Air laut merupakan air tawar yang mengandung 3,5% garam-garam. Sama halnya dengan sifat-sifat fisis dan kimiawi air tawar, molekul air laut terdiri dari dua atom H^+ dan satu atom O^{2-} . Karena kandungan ion H^+ dalam air laut tersebut, maka air laut dapat diekspresikan melalui suatu parameter kimia yang disebut dengan pH. Suatu skala atau ukuran untuk mengukur keasaman atau kebasaan suatu larutan disebut pH yang memiliki nilai bervariasi antara 0 sampai dengan 14, dengan batas normal adalah pada nilai 7 atau biasa dikenal dengan kondisi netral. Dalam artian kimiawi, pH merupakan suatu ekspresi dari konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam air. Besarannya dinyatakan dalam minus logaritma dari konsentrasi ion H ($pH = -\log [H^+]$), (Dickson, 1993).

Pada umumnya perairan laut maupun pesisir memiliki pH relatif lebih stabil dan berada dalam kisaran yang sempit, biasanya berkisar antara 7,6 – 8,3 yang berarti bersifat basa atau disebut alkali (Brotowidjoyo *et al.*, 1995). Namun dalam kondisi tertentu nilainya dapat berubah menjadi lebih rendah sehingga menjadi bersifat asam. Perubahan nilai pH yang demikian dapat berpengaruh terhadap kualitas perairan yang pada akhirnya akan berdampak terhadap kehidupan biota didalamnya. Banyaknya buangan yang berasal dari rumah tangga, industri-industri kimia, dan bahan bakar fosil ke dalam suatu perairan dapat mempengaruhi nilai pH di dalamnya. Menurut standar baku mutu KMN-KLH PP No.1 Tahun 2010 tentang tata laksana pengendalian pencemar air, nilai parameter pH yang termasuk kategori normal yaitu berkisar antara 6 – 9.

Pengasaman laut (*ocean acidification*) merupakan istilah yang diberikan untuk proses turunnya kadar pH air laut yang kini tengah terjadi akibat kenaikan penyerapan karbon dioksida (CO_2) di atmosfer yang dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia. Menurut Jacobson (2005), pH di permukaan laut diperkirakan turun dari 8,25 menjadi 8,14 dari tahun 1751 hingga 2004. Larutnya CO_2 di lautan dapat menyebabkan naiknya konsentrasi ion hidrogen (H^+), sehingga akan mengurangi nilai pH dan mengakibatkan lautan bersifat asam. Disamping itu, menurut Orr *et al.*, (2005) sejak dimulainya revolusi industri pH lautan telah menurun sebesar kurang lebih 0,1 satuan yang setara dengan peningkatan 30% ion hidrogen dan diperkirakan akan terus menurun hingga 0,3 s/d 0,4 satuan pada tahun 2100. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya gas CO_2 yang berasal dari berbagai aktivitas manusia yang diserap lautan tersebut. Perairan yang asam juga cenderung menyebabkan terjadinya pengurangan kalsifikasi untuk pembentukan cangkang

ketika terpapar oleh naiknya kadar CO₂, contohnya pada kerang-kerangan dan hewan bercangkang.

Menurut Mackereth *et al.*, (1989), kondisi pH berkaitan erat dengan karbondioksida (CO₂) dan alkalinitas. Alkalinitas secara umum menunjukkan konsentrasi basa atau bahan yang dapat menetralkan keasaman dalam air. Semakin tinggi nilai pH, maka semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida (CO₂) yang bebas. Selain alkalinitas, konsentrasi DIC (*dissolved inorganic carbon*) dan temperatur juga merupakan faktor yang penting dalam mengatur pH air laut. Nilai DIC yang tinggi akan mengakibatkan bertambahnya ion hidrogen sehingga nilai pH air laut kecil (asam). Temperatur secara tidak langsung juga akan mempengaruhi besarnya nilai pH, yakni nilai DIC besar saat temperatur rendah, sehingga temperatur yang rendah akan mengakibatkan pH air laut yang rendah pula (Suciaty, 2011). Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung variasi pH laut perairan Indonesia dalam kurun waktu 18 tahun terakhir, mengetahui pengaruh kondisi musiman, antar tahunan dan dinamika perairan terhadap pH laut perairan Indonesia, serta melihat hubungan parameter kimia dan fisika laut terhadap konsentrasi pH laut.

Metodologi

Batasan daerah kajian penelitian ini meliputi perairan laut Indonesia mulai dari 95° BT – 140° BT dan 5° LU - 11° LS (Gambar 1.3). Sepuluh lokasi yang akan dikaji pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, yaitu Selat Malaka, Selat Karimata, Selatan Jawa, Laut Jawa, Barat Sumatera, Selatan Bali dan Lombok, Selat Makassar, Laut Banda, Laut Timor, dan Laut Halmahera. Untuk mengetahui terjadinya *trend* jangka panjang dari distribusi pH laut, maka periode data untuk masing-masing parameter yang akan diolah adalah dalam skala dekadal, yakni 1992-2009 (18 tahun).

Data

Dalam perhitungan dan distribusi nilai pH dengan menggunakan algoritma OCMIP-3 (*Ocean Carbon Model Intercomparison Project version.3*) ini memerlukan beberapa data inputan, yaitu data temperatur dan salinitas merupakan hasil simulasi HAMSOM (*HAMBURG Shelf Ocean Model*) mode baroklinik yang telah dilakukan oleh Putri dan Pohlmann (2010). Hasil simulasi yang digunakan yaitu temperatur dan salinitas permukaan bulanan yang akan digunakan selama 18 tahun dengan resolusi 5'' x 5'' untuk wilayah perairan Indonesia (5° LU - 11° LS dan 95° BT - 140° BT).

Data nutrient, yaitu konsentrasi DIC (*Dissolve Inorganic Carbon*) dan Total Alkalinitas (TA). Data yang digunakan merupakan hasil reanalisis dari data pengukuran lapangan (*World Ocean Atlas-WOA*) bulanan klimatologi dengan resolusi $1^0 \times 1^0$ untuk wilayah perairan Indonesia yang diinterpolasi (resampling data) menjadi resolusi $5'' \times 5''$ untuk wilayah yang sesuai dengan batimetri model numeriknya. Data setiap bulan ini akan digunakan selama periode 18 tahun data dalam proses perhitungan.

Perhitungan pH

Pada perhitungan pH air laut dalam OCMIP-3 ini digunakan perhitungan yang dikembangkan oleh Zeebe dan Wolf-Gladrow (2000). Besaran pH air laut dihitung berdasarkan temperatur, salinitas, [DIC], dan [Alk].

$$pH = -\log_{10} [H^+]$$

dimana $[H^+]$ merupakan konsentrasi ion hidrogen yang didapatkan dari :

$$[H^+] = ([a1 \ a2 \ a3 \ a4 \ a5 \ a6])^{1/2}$$

Dalam hal ini $a1, a2, a3, a4, a5$ dan $a6$ merupakan koefisien-koefisien yang dihitung dengan formulasi berikut:

$$a1 = 1;$$

$$a2 = (alk + K_B + K_1);$$

$$a3 = (alk * K_B - K_B * tbor - K_W + alk * K_1 + K_1 * K_B + K_1 * K_2 - dic * K_1);$$

$$a4 = (-K_W * K_B + alk * K_B * K_1 - K_B * tbor * K_1 - K_W * K_1 + alk * K_1 * K_2 + K_B * K_1 * K_2 - dic * K_B * K_1 - 2 * dic * K_1 * K_2);$$

$$a5 = (-K_W * K_B * K_1 + alk * K_B * K_1 * K_2 - K_W * K_1 * K_2 - K_B * tbor * K_1 * K_2 - 2 * dic * K_B * K_1 * K_2);$$

$$a6 = -K_B * K_W * K_1 * K_2;$$

Sedangkan konstanta kesetimbangan reaksi (K) yang digunakan yaitu:

$$K_1 = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

$$K_H = \frac{[CO_2]}{f_{CO_2,a}}$$

$$K_B = \frac{[H^+][BO_2^-]}{[HBO_2]}$$

$$K_S = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]}$$

$$K_F = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]}$$

$$K_W = [H^+][OH^-]$$

dimana,

alk : konsentrasi alkalinitas (mol/kg)

dic : konsentrasi *Dissolved Inorganic Carbon* (mol/kg)

K_1 dan K_2 : konstanta kesetimbangan reaksi karbon

K_B : konstanta kesetimbangan reaksi borat

K_S : konstanta kesetimbangan reaksi sulfat

K_F : konstanta kesetimbangan reaksi *flour*

K_w : konstanta kesetimbangan reaksi air

K_H : konstanta kesetimbangan CO₂ laut

Skala pH dan metode pengukuran pH berbeda-beda, dan memiliki data perbandingan yang sangat rumit hingga saat ini. Pada perhitungan pH ini sistem ekuilibrium karbonat dianggap memberikan hasil yang paling baik, yaitu perhitungan merupakan fungsi dari temperatur dan salinitas yang dikembangkan oleh Luecker *et al.*, (2000), DoE (1994) dan Millero (1995).

Adapun konstanta untuk CO₂ laut menurut hukum Henry (Weiss dan Price, 1980 dalam DoE, 1994):

$$\ln K_H = -162.8301 + 218.2968 \left(\frac{100}{T}\right) + 90.9241 \ln \left(\frac{T}{100}\right) - 1.47696 \left(\frac{T}{100}\right)^2 + S [0.025695 - 0.025225 \left(\frac{T}{100}\right) + 0.0049867 \left(\frac{T}{100}\right)^2]$$

Konstanta pertama dan kedua asam karbonat (Millero, 1995) yang disimbolkan dengan K_1 dan K_2 dihitung menggunakan formulasi berikut (Dickson dan Millero, 1987):

$$\ln K_1 = -\left[\frac{3670.7}{T} - 62.008 + 9.7944 \ln(T) - 0.0118S + 0.0001162S^2\right] \quad (3.12)$$

$$\ln K_2 = -\left[\frac{1394.7}{T} - 4.777 - 0.0184S + 0.000118S^2\right]$$

Berdasarkan Dickson (1990) dalam DoE (1994) konstanta *Boric Acid* (K_B) dihitung dengan formulasi berikut :

$$\ln K_B = \left[\left(\frac{-8966.9 - 2890.53S^{1/2} - 77.942S + 1.728S^{3/2} - 0.0996S^2}{T} + 148.0248 + 137.1942S^{1/2} + 1.62142S - (24.4344 + 25.085S^{1/2} + 0.2474S) \ln(T) + 0.053105S^{1/2}(T) + \ln \left(\left(1 + \left(\frac{0.14S/1.80655}{K_S} \right) \right) + \left(\frac{0.0000067S}{1.80655(18.9984)K_F} \right) \right) / \left(1 + \left(\frac{0.14S/1.80655}{K_S} \right) \right) \right]$$

Dengan K_S berdasarkan Dickson (1990):

$$\ln K_S = \left[\left(\frac{-4276.1}{T} + 141.328 - 23.093 \ln(T) \right) + \left(\frac{-13856}{T} + 324.37 - 47.986 \ln(T) S^{1/2} \right) + \left(\frac{-35474}{T} - 771.54 + 114.723 \ln(T) \right) \left(\frac{19.924S}{(1000-1.005S)} \right) - \left(\frac{-2698}{T} \left(\frac{19.924S}{(1000-1.005S)} \right)^{3/2} + \frac{1776}{T} \left(\frac{19.924S}{(1000-1.005S)} \right)^2 + \ln(1.0-0.001005S) \right]$$

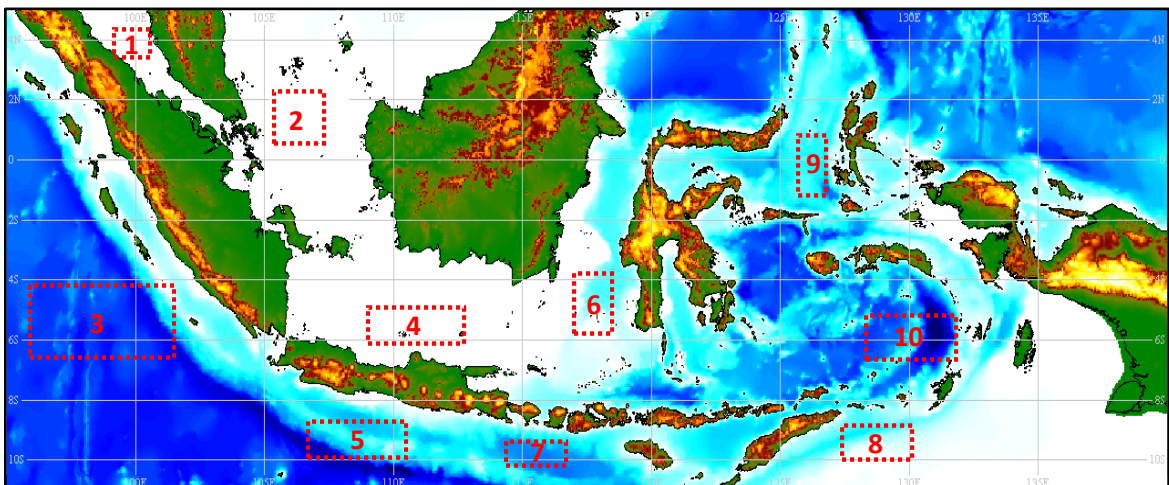
Sedangkan K_F (Dickson dan Riley, 1979) :

$$\ln K_F = \left[\frac{1590.2}{T} - 12.641 + 1.525S^{1/2} + \ln(1.0-0.001005S) \right]$$

Sedangkan konstanta disosiasi air (Millero, 1995) yang disimbolkan dengan K_w dituliskan sebagai berikut:

$$\ln K_w = 148.96502 - \frac{13847.26}{T} - 23.65218 \ln(T) + \left(\frac{118.67}{T} - 5.977 + 1.0495 \ln(T) \right) S^{1/2} - 0.01615S$$

dimana T merupakan temperatur ($^{\circ}\text{C}$) dan S merupakan salinitas (psu).



Gambar 1. Daerah Kajian Perairan Indonesia (Kotak merah, 1: Selat Malaka, 2: Selat Karimata, 3: Barat Sumatera, 4: Laut Jawa, 5: Selatan Jawa, 6: Selat Makassar, 7: Selatan Bali dan Lombok, 8: Laut Timor, 9: Laut Halmahera, 10: Laut Banda)

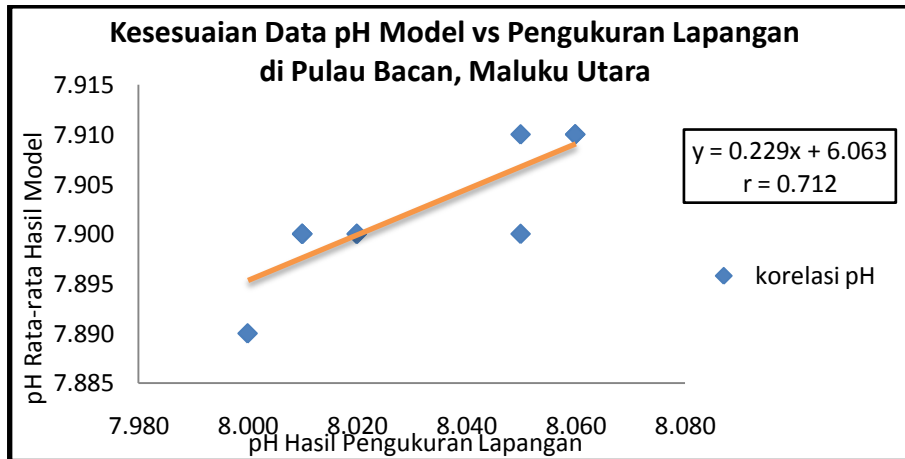
Hasil dan Diskusi

Verifikasi Data Lapangan

Data insitu yang terdapat di wilayah Indonesia jumlahnya terbatas, sehingga pengukuran lapangan untuk data pH hanya terdapat di beberapa lokasi. Data lapangan tersebut digunakan untuk melihat kesesuaiannya dengan hasil perhitungan model yang telah dilakukan.

Hasil perhitungan pH air laut dicocokkan dengan menggunakan data pengukuran lapangan dari LIPI untuk daerah perairan Pulau Bacan, Maluku Utara (Simanjuntak dan Nurhayati, 2005 dalam Marabessy, dkk., 2010) yang dilakukan pada bulan September, 2005. Karena resolusi hasil model sebesar $5'' \times 5''$, maka 1 grid hanya dapat mewakili sekitar $0.084^\circ (\pm 9,3 \text{ km})$. Pada umumnya *range* daerah pengukuran lapangan relatif sempit dan hanya dapat diwakili oleh satu atau dua grid saja pada hasil model. Oleh karena itu, nilai pH yang digunakan untuk pencocokan data ini adalah nilai *range* pH air laut hasil pengukuran lapangan di daerah bagian terluar pulau atau teluk yang dapat mewakili area tersebut. Pencocokan data yang digunakan sesuai dengan pengukuran lapangan pada tiap titik stasiun pengamatan, yakni sebanyak 10 stasiun di perairan Pulau Bacan. Jika data hasil perhitungan sama dengan data observasi maka nilai r (korelasi) akan sama dengan satu, artinya data hasil perhitungan 100% akurat dibandingkan dengan data pengamatan lapangan. Dari grafik kesesuaian data pH, nilai r yang didapatkan di perairan Pulau Bacan yaitu sebesar 0,712, artinya data hasil perhitungan model menunjukkan tingkat kepercayaan sebesar 71% (Gambar 2).

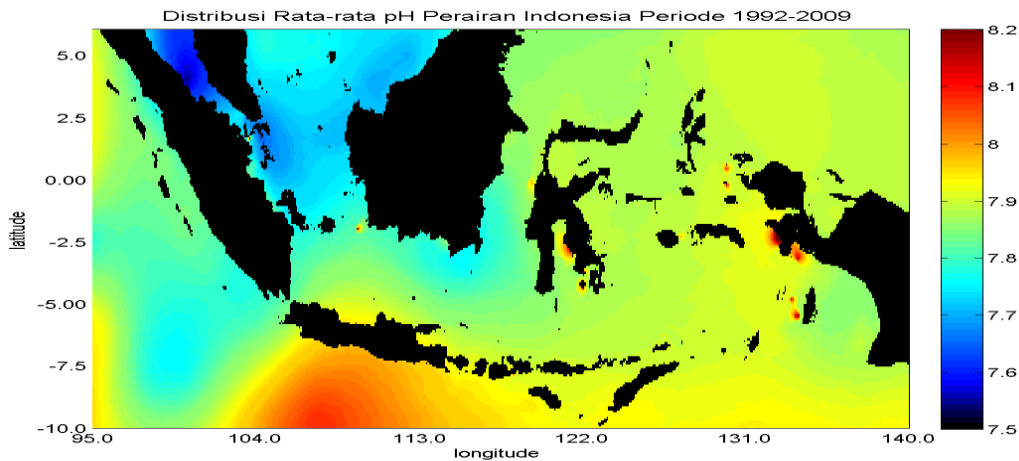
Hal yang perlu diperhatikan bahwa nilai *error* yang timbul disini dapat terjadi karena belum dimasukkannya pengaruh lokal. Selain itu, faktor kondisi lapangan yang dapat mempengaruhi akurasi dan tingkat kepercayaan data hasil pengukuran lapangan belum diperhatikan, seperti pengukuran yang hanya dilakukan sekali, kondisi cuaca saat pengukuran, dan juga keterbatasan data. Namun dengan nilai korelasi tersebut, maka algoritma perhitungan pH yang dikembangkan oleh Zeebe dan Wolf-Gladrow (2000), berdasarkan hasil penelitian ini dianggap dapat digunakan di perairan Indonesia.



Gambar 2. Grafik validasi pH hasil model dari penelitian ini dengan data observasi LIPI (Simanjuntak dan Nurhayati, 2005 dalam Marabessy, dkk., 2010)

Kondisi pH Laut Indonesia

Konsentrasi ion hidrogen umumnya dinyatakan dalam skala pH (0-14). Nilai pH yang rendah berkaitan dengan konsentrasi ion hidrogen yang tinggi dan sebaliknya nilai pH yang tinggi berarti konsentrasi ion hidroksil dalam air tinggi. Suatu zat yang ketika ditambahkan kedalam air akan meningkatkan konsentrasi ion hidrogen disebut asam (pH rendah < 7). Sedangkan zat yang mengurangi konsentrasi ion hidrogen sehingga meningkatkan pH disebut basa (pH tinggi > 7). Konsentrasi pH air laut dalam penelitian ini dihitung dengan algoritma Zeebe dan Wolf-Gladrow (2000) menggunakan data temperatur, salinitas, *dissolved inorganic carbon* (DIC), dan total alkalinitas (TA). Dari keempat parameter tersebut diketahui berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan oleh Suciaty (2011), bahwa alkalinitas yang paling berpengaruh terhadap besarnya nilai pH air laut. Selain TA, konsentrasi DIC juga merupakan faktor yang penting dalam mengatur pH air laut. DIC yang tinggi akan mengakibatkan bertambahnya ion hidrogen, akibatnya nilai pH air laut kecil (asam). Selain itu, melalui hasil perhitungan pH yang telah dilakukan di perairan Indonesia selama 18 tahun ini akan dilihat pengaruh faktor fisis lain, yaitu temperatur dan salinitas yang secara tidak langsung mempengaruhi nilai pH tersebut. Disamping itu, terdapat fenomena laut yang berpengaruh terhadap dinamika perairan Indonesia, seperti musim dan fenomena ENSO (*El-Niño/La-Niña Southern Oscillation*). Dari 10 daerah tinjauan model ini rata-rata diambil di area laut lepas. Hal ini berfungsi untuk menghindari pengaruh faktor lokal yang belum diperhitungkan dalam perhitungan pH dalam model ini.



Gambar 3. Distribusi Rata-rata pH Perairan Indonesia Periode 1992-2009

Hasil perhitungan rata-rata bulanan dan musiman pH perairan Indonesia di 10 lokasi tinjauan periode 1992-2009 diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

▪ **Selat Malaka**

Selama periode 1992-2009 *trend* data menunjukkan penurunan pH yang relatif kecil sekali di Selat Malaka, yakni sebesar -7×10^{-8} dari nilai rata-ratanya atau mendekati nol sehingga dapat dikatakan nilai pHnya cenderung konstan per tahun (lebih asam). Minimum pH terjadi pada Februari 2005 (musim barat). Menurut Putri dan Suciaty (2010), di perairan Selat Malaka saat musim barat memiliki curah hujan yang tinggi, sehingga diduga terjadi pengenceran yang dapat mempengaruhi salinitas menjadi lebih rendah serta dan berakibat pada penurunan nilai pH. Dampaknya perairan ini mendapat masukan nutrisi dari sungai-sungai lebih banyak pada musim barat dibandingkan saat musim timur. Selain itu, kondisi perairan Indonesia bagian barat pada umumnya memiliki kandungan DIC (*dissolved inorganic carbon*) yang tinggi sehingga nilai pHnya relatif lebih rendah daripada daerah lainnya. Sedangkan pH maksimum pada November 1994 terjadi saat El Nino yakni saat suhu permukaan laut relatif lebih rendah karena melemah dan berpindahnya kolom air panas ke perairan barat Amerika, sehingga dapat meningkatkan kelarutan CO₂ dalam laut dan dapat menurunkan nilai pH. Selain itu, di pesisir timur Sumatera bagian utara juga dikenal dengan pengaruh dari sungai gambut (*black river*) yang bersifat asam sehingga dapat mempengaruhi sebaran pH di daerah tersebut.

- **Selatan Jawa**

Selama 18 tahun *trend* data menunjukkan kenaikan pH yang relatif kecil sekali di Selatan Jawa, yaitu sebesar 1×10^{-6} dari nilai rata-ratanya atau bersifat lebih basa. Secara umum nilai pH di Selatan Jawa relatif paling tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya. Hal ini disebabkan karena kandungan TA (total alkalinitas) yang relatif tinggi sepanjang tahunnya. Pada saat nilai pH maksimum yakni bulan Agustus 2008 bertepatan saat musim timur yang menyebabkan terjadinya *upwelling* di perairan selatan Jawa, ditandai dengan salinitas tinggi dan temperatur rendah dari laut dalam. Dari analisis tersebut diduga kuat bahwa di Selatan Jawa proses kimiawi lebih dominan mempengaruhi nilai pH laut.

- **Selat Karimata**

Dalam periode 1992-2009 *trend* data menunjukkan penurunan pH yang relatif kecil sekali di Selat Karimata, yaitu sebesar -2×10^{-7} dari nilai rata-ratanya (lebih asam). Nilai pH maksimum saat Maret 2008 bertepatan saat terjadinya La-Niña dengan kondisi temperatur perairan yang relatif hangat sehingga sedikit melarutkan CO_2 dalam laut. Sedangkan nilai pH minimum pada Oktober 1997 bertepatan saat terjadinya El-Niño dengan kondisi temperatur perairan yang relatif lebih rendah yang cenderung meningkatkan kelarutan CO_2 dalam laut.

- **Laut Jawa**

Selama periode 18 tahun tersebut, *trend* data menunjukkan kenaikan pH yang relatif kecil sekali di Laut Jawa, yakni sebesar 2×10^{-6} dari rata-ratanya (lebih basa). Nilai pH minimum saat Juni 1992 dengan musim timur dan terjadinya El-Niño. Laut Jawa merupakan perairan dangkal memungkinkan untuk terjadinya pencampuran secara sempurna, sehingga diduga nutrisi dan CO_2 yang berada di dasar ada di dekat permukaan sepanjang tahun. Dari analisis tersebut dapat diduga bahwa di Laut Jawa proses fisis lebih dominan mempengaruhi nilai pH laut.

- **Barat Sumatera**

Pada periode 1992-2009 *trend* data menunjukkan kenaikan pH yang relatif kecil sekali di Barat Sumatera, yakni sebesar 3×10^{-8} dari rata-ratanya (lebih basa). Nilai pH maksimum pada bulan Agustus 1994 saat musim timur. Menurut Suciaty (2011) temperatur yang rendah di Samudera Hindia pada musim timur memiliki konsentrasi DIC yang tinggi, akibatnya pH rendah. Dari rata-rata nilai perhitungan pH saat musim timur lebih rendah daripada musim barat, sehingga dapat disimpulkan bahwa di Barat Sumatera proses fisis lebih dominan mempengaruhi nilai pH laut.

- **Selat Makassar**

Selama periode 18 tahun *trend* data menunjukkan kenaikan pH yang relatif kecil sekali di Selat Makassar, yakni sebesar 2×10^{-6} dari nilai rata-ratanya (lebih basa). Nilai pH maksimum bertepatan dengan fenomena La-Niña, yakni saat temperatur perairannya relatif hangat. Sedangkan saat pH minimum pada April 1998 bertepatan saat terjadinya El-Niño, yakni saat temperatur perairannya relatif lebih rendah sehingga meningkatkan kelarutan CO₂ yang menyebabkan perairan menjadi lebih asam (pH rendah).

- **Selatan Bali dan Lombok**

Selama periode 1992-2009 *trend* data menunjukkan kenaikan pH yang relatif kecil sekali di Selatan Bali dan Lombok, yaitu sebesar 6×10^{-7} dari nilai rata-ratanya (lebih basa). Untuk perairan Selatan Bali dan Lombok, nilai pH maksimum terjadi pada bulan September 2004 dan minimum saat Maret 1998 terjadi pada periode normal.

- **Laut Banda**

Dari pengolahan *trend* data menunjukkan kenaikan pH yang relatif kecil sekali di Laut Banda, yaitu sebesar 2×10^{-6} dari rata-ratanya (lebih basa). Nilai pH maksimum terjadi pada September 2009 bertepatan saat terjadinya El-Niño, sedangkan pH minimum pada Juni 1998 bertepatan saat La-Niña dan musim timur. Perairan Indonesia bagian timur, di sekitar Laut Banda pada bulan Juli (musim timur) mengalami mengalami *upwelling* (Nontji,1987). Proses *upwelling* menyebabkan terangkutnya CO₂ ke lapisan permukaan, sedangkan proses *downwelling* menyebabkan CO₂ di lapisan permukaan tenggelam ke laut dalam, sehingga mengakibatkan konsentrasi CO₂ yang lebih tinggi pada musim timur dibandingkan saat terjadinya fenomena *downwelling* pada musim barat (Nontji,1987).

Di Laut Banda pH air laut lebih tinggi saat musim barat dibandingkan saat musim timur. Hal ini disebabkan karena konsentrasi DIC dan TA yang lebih besar saat musim barat dibandingkan saat musim timur (Suciaty, 2011). Saat konsentrasi DIC tinggi maka ion-ion hidrogen akan bertambah, akibatnya terjadi penurunan pH air laut (asam).

- **Laut Timor**

Selama periode 18 tahun *trend* data menunjukkan penurunan pH yang relatif kecil sekali di Laut Timor, yakni sebesar -1×10^{-6} dari rata-rata (lebih asam). Nilai pH maksimum pada Februari 1993 saat musim barat dan pH minimum pada November 2002 bertepatan saat terjadinya El-Niño. Menurut Siahaya (2010) pada saat musim timur (Juli) curah hujan relatif tinggi sehingga salinitas dan pH lautnya menjadi lebih rendah dibandingkan saat musim barat.

- **Laut Halmahera**

Selama 18 tahun *trend* data menunjukkan penurunan pH yang relatif kecil sekali di Laut Halmahera, yakni sebesar -5×10^{-7} dari nilai rata-ratanya (lebih asam). Nilai pH maksimum (Januari 1993) bertepatan saat musim barat, sedangkan pH minimum (Juni 2007) terjadi saat musim timur dengan kondisi kandungan TA yang relatif rendah sehingga dapat menurunkan pH laut, sehingga di Laut Halmahera proses kimiawi lebih dominan mempengaruhi nilai pH laut.

Tabel 1. Rata-rata Bulanan pH Laut Perairan Indonesia 1992-2009

Daerah	Rata-rata Bulanan pH Laut Perairan Indonesia 1992 - 2009												Rata-rata
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	
Selat Malaka	7.56	7.56	7.61	7.60	7.60	7.63	7.63	7.63	7.66	7.66	7.67	7.56	7.61
Selatan Jawa	8.02	8.02	8.01	8.01	8.02	8.03	8.05	8.06	8.04	8.02	8.01	8.02	8.03
Selat Karimata	7.71	7.71	7.77	7.76	7.75	7.73	7.73	7.73	7.68	7.68	7.68	7.70	7.72
Laut Jawa	7.88	7.89	7.85	7.84	7.84	7.82	7.82	7.82	7.89	7.88	7.88	7.87	7.86
Barat Sumatera	7.81	7.81	7.80	7.80	7.79	7.81	7.81	7.82	7.80	7.80	7.80	7.81	7.81
Selatan Bali	7.95	7.95	7.92	7.93	7.95	7.94	7.95	7.96	7.97	7.95	7.95	7.95	7.95
Selat Makassar	7.87	7.87	7.75	7.75	7.75	7.76	7.77	7.78	7.90	7.89	7.89	7.87	7.82
Laut Banda	7.91	7.91	7.89	7.89	7.91	7.88	7.90	7.91	7.94	7.92	7.91	7.91	7.91
Laut Timor	7.93	7.94	7.90	7.90	7.91	7.89	7.90	7.91	7.92	7.91	7.89	7.93	7.91
Laut Halmahera	7.90	7.90	7.89	7.88	7.88	7.85	7.86	7.86	7.89	7.88	7.88	7.89	7.88

Tabel 2. Rata-rata Musiman pH Laut Perairan Indonesia 1992-2009

Daerah	Rata-rata Musiman pH Laut Perairan Indonesia 1992-2009			
	Musim Barat	Peralihan I	Musim Timur	Peralihan II
Selat Malaka	7.56	7.60	7.63	7.66
Selatan Jawa	8.02	8.01	8.05	8.02
Selat Karimata	7.71	7.76	7.73	7.68
Laut Jawa	7.88	7.84	7.82	7.89
Barat Sumatera	7.81	7.80	7.81	7.80
Selatan Bali	7.95	7.93	7.95	7.96
Selat Makassar	7.87	7.75	7.77	7.89
Laut Banda	7.91	7.89	7.90	7.92
Laut Timor	7.93	7.91	7.90	7.91
Laut Halmahera	7.90	7.88	7.85	7.88
Rata-Rata	7.85	7.84	7.84	7.86
Indonesia Barat	7.82	7.82	7.83	7.83
Indonesia Timur	7.90	7.86	7.86	7.90

Keterangan:

MAM: Maret, April, Mei

JJA: Juni, Juli, Agustus

SON: September, Oktober, November

DJF: Desember, Januari, Februari

Kesimpulan

Secara umum di perairan Indonesia, variasi pH selama 18 tahun periode 1992-2009 tidak banyak mengalami perubahan, yaitu naik sebesar $6,86 \times 10^{-6}$ satuan pH. Sedangkan variasi rata-rata dari pH global selama 1751-2004 (Jacobson, 2005) menurun dengan asumsi kondisi lingkungan tetap sebesar $7,81 \times 10^{-5}/18$ tahun.

Hubungan kejadian *El-Niño/La-Niña Southern Oscillation* (ENSO) yakni rata-rata berpengaruh pada saat pH mencapai nilai minimum dari rata-ratanya bertepatan dengan terjadinya El Nino, yaitu di Selat Karimata, Laut Jawa, Selat Makassar, Selatan Bali dan Lombok, serta Laut Timor. Hal ini disebabkan karena temperatur laut yang relatif lebih rendah sehingga meningkatkan kelarutan CO_2 yang dapat menurunkan pH.

Dari 10 area tinjauan model, terlihat bahwa perairan Indonesia terbagi menjadi dua karakteristik wilayah. Perairan Indonesia bagian timur, yaitu sekitar 116^0 BT hingga 140^0 BT memiliki nilai pH rata-rata yang lebih besar saat musim barat (7,9) dibandingkan saat musim timurnya (7,86). Sedangkan perairan Indonesia bagian barat, yaitu sekitar 95^0 BT hingga 116^0 BT memiliki nilai pH yang lebih besar saat musim timur (7,83) dibandingkan saat musim baratnya (7,82).

Rata-rata *trend* pH di daerah Indonesia bagian barat naik sebesar $7,65 \times 10^{-7}$ satuan pH (lebih basa), sedangkan di daerah Indonesia bagian timur turun sebesar 5×10^{-7} satuan pH (lebih asam).

Ucapan Terima Kasih

Penulisan paper ini didanai dari Penelitian Hibah Strategis Nasional DIKTI dengan judul “Implikasi Perubahan Iklim dan Siklus CO₂ pada Sektor Kelautan dan Perikanan: Tantangan Perumusan Kebijakan untuk Mitigasi dan Adaptasinya di Indonesia”.

Daftar Pustaka

- Brotowijoyo, M. D., Dj. Tribawono., E. Mulbyantoro., 1995. *Pengantar Lingkungan Perairan dan Budidaya Air*. Liberty: Yogyakarta.
- Dickson, A. G., dan J. P. Riley., 1979. The estimation of acid dissociation constants in seawater media from potentiometric titrations with strong base. II. The dissociation of phosphoric acid. *Mar. Chem.* **7**, 101-109.
- Dickson, A. G., dan F. J. Millero., 1987. A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. *Deep-Sea Res*, 34:1733-43.
- Dickson, A. G., 1993b. The measurements of sea water pH. *Marine Chemistry*. **44**:131-142.
- DoE., 1994. *Handbook of Methods for the Analysis of the Various Parameters of the Carbon Dioxide System in Sea Water*, version 2 (ed. A. G. Dickson and C. Goyet). ORNL/CDIAC-74.
- Jacobson, M. Z., 2005. Studying ocean acidification with conservative, stable numerical schemes for nonequilibrium air-ocean exchange and ocean equilibrium chemistry, *J. Geophys. Res.*, **110**, D07302, doi:10.1029/2004JD005220.
- Luecker, T. J., A. G. Dickson dan C. D. Keeling., 2000. Ocean pCO₂ calculated from dissolved inorganic carbon, alkalinity and the equations for K₁ and K₂: validation based on laboratory measurements of CO₂ in gas and seawater at equilibrium. *Mar. Chem.* **70**, 105-19.
- Mackereth, F.J.H., Heron, J. and Talling, J.F., 1989. Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists. Freshwater Biological Association, *Scientific Publication*, No. 36, Cumbria and Dorset, England, 120 pp.
- Marasabessy, M. D., Edward dan F. L. Valentin., 2010. Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen di Perairan Pulau Bacan, Maluku Utara. *Jurnal Oseanografi-LIPI*: 1-7.

- Millero, F. J., 1995. Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 661-77.
- Nontji, A., 1987. Kandungan Klorofil pada Fitoplankton di Laut Banda dan Seram. *Oseanologi di Indonesia*, 2: 1-16.
- Orr, J. *et al.*, 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms, *Nature*, vol. 437, pp. 681-686.
- Putri, M.R., dan T. Pohlmann, 2010. *Impact of Climate Change to SST and Its Influence to Net Primary Production in the Indonesia Waters*, Poster session on International Seminar "ITB-UNCRD Senior Policy Seminar on Climate Change and Poverty in Asia-Africa: Challenges and Initiatives", 3-4 August 2010.
- Putri, M.R., dan F. Suciaty, 2010. Analisis Parameter Oseanografi untuk Penentuan Habitat Ikan Pelagis di Perairan Paparan Sunda, *Prosiding SEMNASKAN UGM*, 24 Juli 2010.
- Siahaya, D., dan M.R. Putri., 2010. *Kondisi Nutrien dan pH di Teluk Ambon Tahun 2009*, Jurnal Ilmu Kelautan, Vol. 1, Edisi Khusus Februari 2010.
- Suciaty, F., 2011. *Studi Siklus Karbon di Permukaan Laut Perairan Indonesia*. Tesis Magister Sains Kebumihan, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Zeebe, R. E. dan D.A. Wolf-Gladrow., 2000. *CO₂ in Seawater: Equilibrium, Kinetics, Isotope*. Amsterdam: Elsevier.

Analisis Kualitas Air Dengan Pendekatan Statistik Pada Ekosistem Terumbu Karang Di Pulau Biawak Indramayu

Asep Irwan , Jaya Kelvin , dan Ghalib Kamal

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas

Padjadjaran, Jl Raya Sumedang Km 21 Sumedang 45363, Jawa Barat

Email : laruku_one@yahoo.com/komitmen.kelautan@gmail.com

ABSTRAK

Potensi kawasan pulau biawak memiliki keanekaragaman hayati yang sangat potensial untuk dikembangkan. Tujuan penelitian ini mengkaji kualitas air pada ekosistem terumbu karang. Tingkat persentase tutupan karang diamati secara langsung dengan menggunakan metode LIT (Line Intercept Transect) pada kedalaman tiga meter persentase tutupan karang karang hidup termasuk kategori sedang sampai sangat baik (45.40% - 75.02%), sedangkan kedalaman tujuh meter kondisi tutupan karang termasuk ke dalam kategori buruk sampai dengan baik (20.76% - 63.18%). Hasil pengukuran parameter perairan menunjukkan kecepatan arus berkisar 0.28 m/s pada lapisan permukaan 0.5 meter. Parameter biofisik perairan lainnya yaitu salinitas memiliki nilai rata-rata 30.5 ‰, suhu permukaan laut 28.6 °C, pH 7.88 dan oksigen terlarut 5.2 mg/l. Analisis korelasi dari setiap stasiun pengamatan menunjukkan ada beberapa perbedaan tingkat dominansi yang signifikan. Analisis tersebut dilakukan dengan pendekatan statistik yaitu PCA (Principle Component Analysis).

Kata Kunci: kualitas air, PCA (Principle Component Analysis), ekosistem terumbu karang

ABSTRACT

Potential areas of Biawak Island which has marine biodiversity a potential. The purpose of this study examines water quality in coral reef ecosystems. Level percentage of coral cover observed directly by using the LIT (Line Intercept Transect) at a depth of three meters cover percentage of live coral reefs counted to category of moderate to very good (45.40% - 75.02%), while at a depth of seven meters of coral cover conditions counted to category of bad to good (20.76% - 63.18%). The measurement results show the water flow velocity parameter ranges 0.28 m/s in the surface layer of 0.5 meters. Other biophysical parameters, namely salinity have an average value of 30.5 ‰, sea surface temperature 28.6 °C, pH 7.88 and dissolved oxygen 5.2 mg/l. Results of correlation analysis of some observation stations showed there were some significant. The analysis was performed with a statistical approach, namely PCA (Principle Component Analysis).

Keywords: water quality, PCA (Principle Component Analysis), coral reef ecosystem

Pendahuluan

Pulau Biawak yang terletak di lepas pantai Laut Jawa, di sebelah utara pantai Indramayu yang secara geografis terletak pada posisi 05o56'002" LS dan 108o22'015" BT, atau terletak 26 mil (50 km) di sebelah utara Indramayu. Luas pulau ± 120 Ha, terdiri dari ± 80 Ha hutan bakau dan ± 40 Ha hutan pantai/darat (DKP, 2005). Pulau Biawak memiliki wilayah zona perlindungan dan zona pemanfaatan terbatas. Ekosistem terumbu karang yang terdapat di Pulau Biawak merupakan salah satu ekosistem yang termasuk ke dalam zona perlindungan. Ekosistem terumbu karang memiliki keanekaragaman hayati yang cukup tinggi, memiliki terumbu karang yang mengalami *recovery* dan karena terdapat beberapa wilayah ekosistem terumbu karang yang mengalami kerusakan akibat penangkapan ikan dengan menggunakan bom (DKP, 2005).

Dalam rangka mengoptimalkan pemanfaatan sumberdaya laut Indonesia, maka secara konseptual pengelolaan terumbu karang harus didasarkan pada elemen-elemen yang mendukungnya. Faktor-faktor tersebut meliputi ekologi, teknologi, dan sosial ekonomi. Berbagai metode untuk mengukur keberlanjutan pengelolaan terumbu karang yang tersedia, sifatnya masih parsial misalnya menggunakan valuasi ekonomi yang terdiri dari pemanfaatan ekstraktif dan non ekstraktif dan manajemen, serta sosial ekonomi masyarakat. Namun demikian analisis terhadap satu atau dua variabel saja untuk melihat status keberlanjutan belum memadai, mengingat proses pengelolaan melibatkan banyak variabel (multivariabel). Kondisi setiap variabel yang terkait erat dengan proses pengelolaan terumbu karang perlu dikaji dan dianalisis, sehingga hasil penilaian dapat bersifat komprehensif.

Ekosistem terumbu karang selama ini dipandang sebagai kawasan dengan menitik beratkan pada fungsi ekologinya semata, padahal di dalam ekosistem terumbu karang tersebut juga memiliki nilai teknologi yang perlu diperhatikan (Arifin, 2007). Ketimpangan pandangan tersebut selain kurangnya informasi mengenai pentingnya ekosistem terumbu karang dan pengelolaan terumbu karang. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan analisis kualitas air pada ekosistem terumbu karang dengan menggunakan metode *Principle Component Analysis (PCA)*. Berdasarkan hal tersebut di atas, maka permasalahan yang hendak dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana keberlanjutan dalam mengoptimalkan ekosistem terumbu karang terhadap kualitas perairannya.

Studi Pustaka

Terumbu karang merupakan suatu ekosistem yang khas dan sangat produktif yang terdapat di perairan pesisir daerah tropis, dengan beragam tumbuhan dan hewan laut berasosiasi di dalamnya. Terumbu terbentuk dari endapan-endapan masif kalsium karbonat (CaCO₃) yang dihasilkan oleh organisme karang pembentuk terumbu dari filum Cnidaria, ordo Scleractinia yang hidup bersimbiosis dengan *zooxantellae*, dan sedikit tambahan dari algae berkapur serta organisme lain yang menyekresi kalsium karbonat (Bengen dan Alex, 2006).

Faktor Pembatas Ekosistem Terumbu Karang

Faktor pembatas keberadaan terumbu karang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan karang itu sendiri, berikut beberapa parameter pembatas terumbu karang menurut Nybakken (1992) dalam Kristiadhi (2011):

- 1) Suhu, perkembangan terumbu karang yang paling optimal terjadi di perairan yang rata-rata suhu tahunannya 23-25°C, terumbu karang dapat mentoleransi suhu 36-40°C.
- 2) Kedalaman, terumbu karang tidak dapat berkembang di perairan yang lebih dalam dari 50-70 m, kebanyakan terumbu karang tumbuh pada kedalaman 25 m atau kurang.
- 3) Cahaya, cahaya merupakan salah satu faktor yang paling penting yang membatasi terumbu karang, cahaya yang cukup harus tersedia agar fotosintesis oleh zooxanthellae simbiotik dalam jaringan karang dapat terlaksana, titik kompensasi untuk karang merupakan kedalaman dengan intensitas cahaya berkurang sampai 15-20% dari intensitas di permukaan.
- 4) Salinitas, salinitas lingkungan terumbu karang hampir menyerupai tingkat salinitas air laut yang normal, yakni 32-35‰.
- 5) Sedimen atau pengendapan, akibat sedimentasi atau pengendapan mempunyai pengaruh negatif terhadap karang, endapan dalam air berakibat negatif, yaitu mengurangi cahaya yang dibutuhkan untuk fotosintesis oleh zooxanthellae dalam jaringan karang.

Metode Pemantauan Kondisi Terumbu Karang

Metode pemantauan kondisi terumbu karang dapat dilakukan dengan beberapa metode antara lain metode *reefcheck*, metode *manta tow*, dan metode *Line Intercept*

Transect (LIT). Pemilihan metode pemantauan kondisi terumbu karang disesuaikan dengan tujuan dan kebutuhan pemantauan itu sendiri. Metode *LIT* dipilih karena metode ini memiliki beberapa kelebihan, diantaranya (Johan, 2003):

- 1) Pengelompokan biota ke dalam beberapa kategori mempermudah peneliti atau orang dengan kemampuan terbatas untuk identifikasi terumbu karang.
- 2) Metode ini merupakan metode sampling untuk menghitung persentase tutupan biota yang sangat efisien dan dapat dipercaya.
- 3) Struktur komunitas biota yang berasosiasi dengan terumbu karang dapat diperoleh dengan baik
- 4) Hanya memerlukan sedikit peralatan dan relatif sederhana dalam penerapannya.

Sedangkan beberapa kekurangan metode *LIT* adalah (Johan, 2003):

- 1) Membutuhkan tenaga peneliti yang banyak dan waktu yang lama
- 2) Dituntut keahlian peneliti dalam identifikasi karang, minimal *lifeform* dan sebaiknya genus atau spesies
- 3) Peneliti dituntut sebagai penyelam yang baik
- 4) Biaya yang dibutuhkan relatif lebih besar

Analisis Data Dengan Pendekatan Statistik

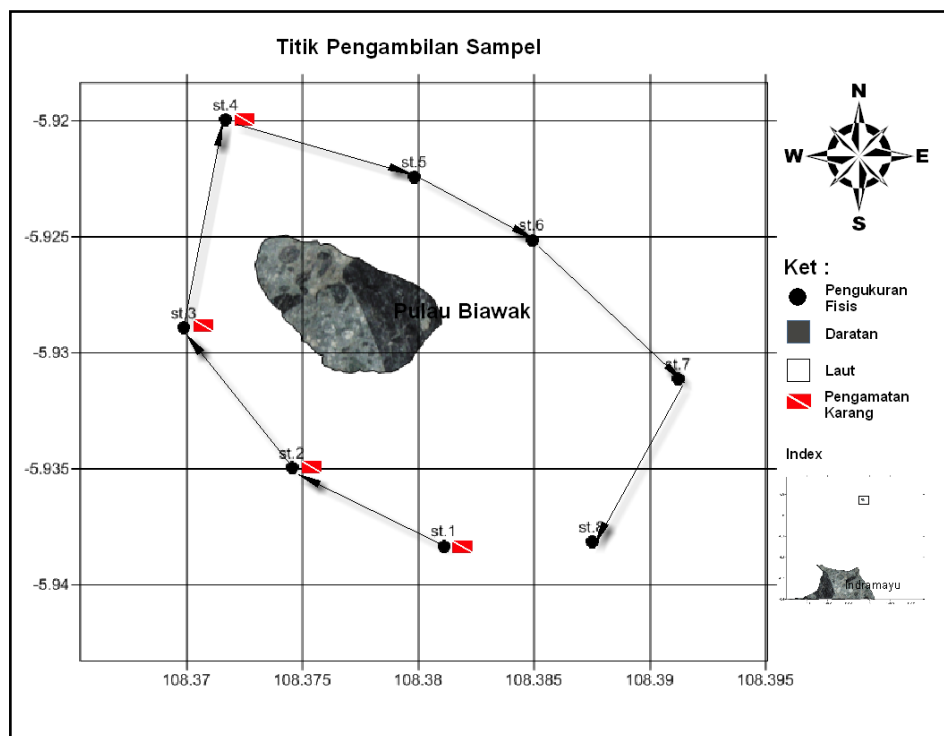
Analisis data pada pendekatan statistik dilakukan untuk melihat korelasi antar parameter kualitas perairan yaitu dengan analisis komponen utama (*principal component analysis* / PCA) adalah teknik yang digunakan untuk menyederhanakan suatu data, dengan cara mentransformasi linier sehingga terbentuk sistem koordinat baru dengan varians maksimum. PCA dapat digunakan untuk mereduksi dimensi suatu data tanpa mengurangi karakteristik data tersebut secara signifikan (Andi, 2011). Keuntungan penggunaan *Principal Component Analysis* (PCA) dibandingkan metode lain:

- 1) Dapat menghilangkan korelasi secara bersih (korelasi = 0)
- 2) Dapat digunakan untuk segala kondisi data / penelitian
- 3) Dapat dipergunakan tanpa mengurangi jumlah variabel asal
- 4) Walaupun metode Regresi dengan PCA ini memiliki tingkat kesulitan yang tinggiakan tetapi kesimpulan yang diberikan lebih akurat dibandingkan dengan penggunaan metode lain.

Metodologi

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Pulau Biawak, Indramayu, Provinsi Jawa Barat yang terletak pada koordinat $06^{\circ}56'022''$ LS dan $108^{\circ}22'015''$ BT dilihat pada **Gambar 1**. Secara administratif pulau ini bagian dari kabupaten Indramayu Jawa Barat, letak pulau biawak sebelah utara semenanjung Indramayu sekitar 40 kilometer dari pantai utara indramayu (Darmadi, 2011). Penelitian ini bertema Biawak Exploration and Reseach 2012 (BIEX-RE 2012) dan dilaksanakan pada tanggal 28 Juni sampai dengan tanggal 1 Juli 2012.



Gambar 1. Titik Pengambilan Sampel

Metode Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan dengan metode survei, pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan. Pengamatan ekosistem terumbu karang dilakukan pada empat stasiun dengan metode *Line Intercept Transect* (LIT) yang dilakukan oleh TIM dari OSEANIK FPIK UNPAD pada kedalaman tiga meter dan tujuh meter. Dalam metode ini terdapat empat tahapan yang dilakukan, yaitu melakukan survei awal dengan melihat ekosistem terumbu karang yang akan dijadikan LIT dengan *Manta Tow*, pembentangan *roll* meter, identifikasi karang, dan pengambilan foto jenis karang.

Pengambilan data kualitas air dilakukan dengan delapan stasiun pengamatan berdasarkan kondisi lingkungan perairannya. Parameter-parameter yang diukur secara langsung (*in situ*) meliputi: suhu, salinitas, pH, Kecerahan, oksigen terlarut, kedalaman, dan kecepatan arus. Kemudian analisis kualitas air dilakukan dengan melihat pola sebaran dari parameter-parameter pada lapisan permukaan sekitar perairan pulau biawak. Pola sebaran spasial parameter kualitas perairan dilakukan dengan bantuan piranti lunak Surfer v.10. Lebih lanjut untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan antara kondisi perairan dengan stasiun pengamatan, dianalisa secara pendekatan analisis statistik dengan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) melalui bantuan perangkat lunak MINITAB v.15 (Arifin, 2007).

Data sekunder dari hasil-hasil penelitian sebelumnya, terutama dari hasil penelitian (Kristiadhi, 2011) tentang Distribusi Dan Kondisi Terumbu Karang Di Perairan Pulau Biawak Kabupaten Indramayu pada tahun 2011 serta penelitian pihak lainnya.

Analisis Data

Kondisi Terumbu Karang

Kondisi terumbu karang dapat diduga melalui pendekatan persentase penutupan karang hidup sebagaimana yang dijelaskan oleh Gomez dan Yap (1988) *dalam* (Adriman dkk, 2012). Adapun kriteria penilaian kondisi ekosistem terumbu karang berdasarkan persentase penutupan karang hidup disajikan pada **Tabel 1**. Berikut;

Tabel 1. Kriteria penilaian kondisi ekosistem terumbu karang berdasarkan persentase penutupan karang (Gomez dan Yap, 1988 *dalam* Adriman dkk, 2012).

Persentase Penutupan (%)	Kriteria Penilaian
0 – 24,9	Buruk
25 – 49,9	Sedang
50 – 74,9	Baik
75 – 100	Sangat Baik

Kualitas Air

Data kualitas air yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Kemudian untuk melihat keterkaitan antara karakteristik lingkungan biofisik-kimia perairan dengan masing-masing lokasi digunakan pendekatan analisis statistik multivariabel PCA (*Principal Component Analysis*) (Arifin, 2007).

Hasil Dan Pembahasan

Kondisi Ekosistem Terumbu Karang

Dari hasil penelitian kondisi persentase penutupan karang di perairan pulau biawak ekosistem terumbu karang berkembang dengan baik. Namun kondisi ini dikuatirkan tidak akan selamanya baik, dikarenakan banyaknya nelayan yang menangkap ikan dengan menggunakan bom, sianida (*Potassium Cyanida*), dan jaring yang tidak ramah lingkungan yang merupakan penyebab utama terjadinya tekanan terhadap kondisi ekosistem terumbu karang. Hal ini dapat terus terjadi apabila dampak dari kegiatan aktifitas manusia yang merusak lingkungan ekosistem terumbu karang Pulau Biawak tidak berhenti. Hasil pengamatan langsung dengan dilakukan pemantauan dan dokumntasi karang yang dilakukan oleh TIM OSEANIK pada kegiatan Biawak Exploration and Research (BIEX-RE 2012) pada tanggal 28 Juni sampai dengan 1 juli terlihat persentase penutupan karang hidup pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Persentase Penutupan Karang di Perairan Pulau Biawak pada ; a). Kedalaman 3 m dan b). Kedalaman 7 m

a). Kedalaman 3 m

St.	Life Coral	Dead Coral	Other Fauna	Abiotic
1	46.46 %	47.14 %	3.76 %	2.64 %
2	75.02 %	19.44 %	4.56 %	0.98 %
3	45.40 %	51.24 %	2.08 %	1.28 %
4	51.70 %	43.68 %	1.80 %	2.82 %

b). Kedalaman 7 m

St.	Life Coral	Dead Coral	Other Fauna	Abiotic
1	20.76 %	44.16 %	6.00 %	29.08 %
2	63.18 %	17.48 %	2.52 %	16.82 %
3	61.50 %	43.68 %	1.80 %	2.82 %
4	45.98 %	28.00 %	6.48 %	19.54 %

Dari **Tabel 2**. Diatas terlihat bahwa persentase tutupan karang karang hidup hanya termasuk kategori sedang hingga sangat baik (45.40% - 75.02%) untuk lokasi pada kedalaman tiga meter. Sedangkan pada beberapa stasiun pengamatan karang pada kedalaman tujuh meter kondisi tutupan karang termasuk ke dalam kategori buruk sampai dengan baik (20.76% - 63.18%). Hal ini terlihat perbedaan nyata antara kedalaman tiga meter dengan tujuh meter dikarenakan karakteristik pada setiap stasiun pengamatan berbeda-beda.

Kualitas Lingkungan Perairan

Dari hasil pengamatan dan pengukuran dilihat pada **Gambar 3** diketahui bahwa sebagian besar parameter kualitas air yang diukur masih di bawah ambang baku mutu air laut untuk kehidupan biota laut, tanpa terkecuali nitrat dan fosfat nilai konsentrasi tidak dilakukan pengujian ke laboratorium, sehingga tidak terlihat konsentrasi parameter nitrat dan fosfat terukur pada penelitian ini. Kemudian dari hasil pengamatan lapangan atau secara langsung dilakukan perbandingan nyata dengan baku mutu perairan sesuai peruntukannya yang berlaku di Indonesia yakni mengacu pada Kepmen LH No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut.

Terlihat pada **Tabel 3** dari delapan stasiun pengamatan pada lapisan permukaan terlihat nilai kualitas air pada setiap stasiun pengamatan.

Tabel 3. Parameter Kualitas Air di Lapisan Permukaan Perairan Pulau Biawak

St.	pH	DO (mg/l)	Suhu °C	Kecerahan (meter)	Salinitas (ppt)	Arus (m/s)	Arah Arus (°)
St. 1	7.98	5.4	28.97	3.98	29.67	0.28	148
St. 2	7.8	4.64	29	3.58	30	0.32	180
St. 3	7.96	4.6	29.24	4.66	29	0.37	270
St. 4	7.75	5.6	29.24	4.55	30.67	0.19	75
St. 5	7.86	5.8	28.8	5.37	32	0.34	320
St. 6	7.82	4.5	26.97	4.02	30	0.18	293
St. 7	7.75	5.65	27.25	3.15	32	0.14	300
St. 8	8.09	5.4	28.5	5.43	29.5	0.38	120

Disamping dilakukan pengukuran kualitas air juga dilakukan pengukuran kecepatan arus pada setiap lokasi pengamatan. Dari hasil penelitian diketahui, rata-rata kecepatan arus di sekitar perairan pulau biawak yaitu 0.27 m/s dilihat pada **Tabel 4** dan **Gambar 3**. Pergerakan arah arus sangat mempengaruhi kualitas perairan karena akan membawa partikel-partikel dari lepas pantai maupun sedimen dari daratan yaitu *run off*.

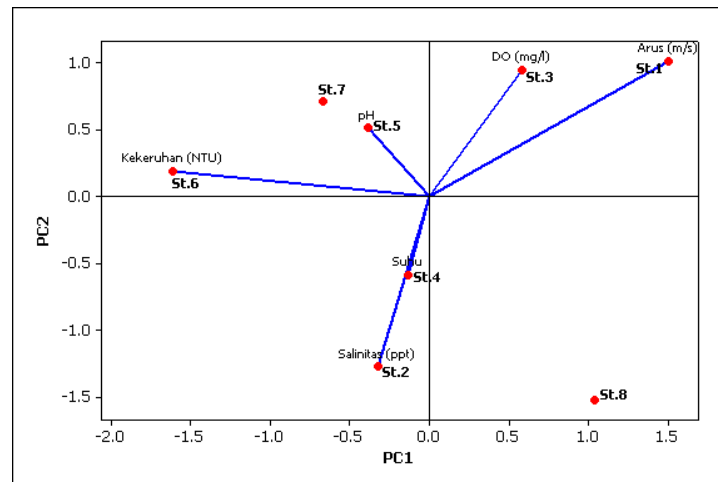
Tabel 4. Kandungan Parameter Uji dari Setiap Stasiun di Perairan P.Biawak

Parameter	Lapisan Permukaan (0.5 meter)					Baku Mutu (menurut KepMen KLH No. 02/1988)
	Min	Max	Rata"	St. Dev		
pH	7.75	8.09	7.88	0.12		6-9
DO (mg/l)	4.5	5.8	5.20	0.53		≥ 4
Suhu °C	26.97	29.24	28.49	0.89		±20% Alami
Kecerahan (meter)	3.15	5.43	4.34	0.81		≤ 10
Salinitas (ppt)	29	32	30.35	1.12		10% Alami
Arus (m/s)	0.15	29	0.27	0.092		0.03-0.33
Depth (m)	11.15	46.3	33.38	11.31		0-20

Pada parameter kualitas air lingkungan perairan pulau biawak didapatkan nilai rata-rata dari setiap stasiun pengamatan yang telah dilakukan. Pada pH rata-rata berkisar antara 7.88, oksigen terlarut 5.20 (mg/l), suhu 28.49 °C, Kecerahan 4.34 meter, serta pada salinitas berkisar antara 30.35 ppt. Parameter-parameter tersebut didapatkan dari sebaran pengamatan langsung di lapangan pada delapan stasiun dengan mengelilingi kawasan perairan pulau biawak.

Korelasi dan Pola Sebaran Karakteristik Kualitas Air

Keterkaitan antara beberapa parameter pengamatan sangat diperlukan untuk dianalisis sehingga dapat terlihat tingkat keterkaitan dari setiap parameter uji ataupun stasiun pengamatan. Hal ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan statistik multivariabel PCA (*Principal Component Analysis*) (Arifin, 2007). Hasil analisa korelasi antara faktor kondisi lingkungan perairan dengan hubungan parameter lainnya termasuk terumbu karang menunjukkan ada beberapa perbedaan tingkat dominansi yang dimiliki oleh setiap stasiun dilihat pada **Gambar 2 dan Gambar 3**.



Gambar 2. Lingkaran Korelasi Antar Parameter Dari Beberapa Stasiun Pengamatan

Pada penelitian ini pola sebaran suhu, salinitas, oksigen terlarut, pH, Kecerahan, dan kecepatan arus dilakukan untuk melihat karakteristik dari setiap parameter agar dapat terlihat lebih Nampak dan jelas pada. Berdasarkan penyebarannya parameter kualitas air di lapisan perairan pulau biawak dapat dikatakan dipengaruhi oleh pergerakan arus yang membawa kadar air laut ke tempat lokasi pengamatan. Perbedaan hasil analisis relatif kecil sebagaimana telah disajikan pada **Gambar 2 dan Gambar 3**, menunjukkan keterkaitan yang sangat erat antara parameter lingkungan dengan stasiun pengamatan namun dalam

penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu alat evaluasi untuk keberlanjutan pengelolaan ekosistem terumbu karang yang terdapat di perairan pulau biwak.

Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu :

1. Kondisis terumbu karang yang terdapat di kawasan perairan pulau biwak termasuk dalam kondisi “sedang” hingga “sangat baik”.
2. Parameter kualitas air yang diukur masih berada dibawah baku mutu air laut untuk kehidupan biota laut, tanpa terkecuali parameter nitrat dan fosfat yang tidak dilakukan uji laboratorium.
3. Hasil analisis antar beberapa parameter uji dengan karakteristik dari setiap stasiun pengamatan menunjukkan adanya hubungan korelasi yang signifikan antara beberapa parameter. Sehingga persentase tutupan karang hidup berkorelasi negatif dengan sebagian besar variabel parameter lingkungan perairan seperti salinitas, pH, oksigen terlarut, dan kecepatan arus. Kecuali suhu, Kecerahan dan kedalaman berkorelasi positif.
4. Pola sebaran parameter kualitas air terlihat sangat dipengaruhi oleh faktor pergerakan arus dan kedalaman. Hal ini menjadikan perbedaan persentase tutupan karang antara kedalaman tiga meter dan tujuh meter.

Saran

Adapun saran sebagai rekomendasi hasil penelitian untuk pihak setempat yaitu:

1. Perlu dilakukan pengamatan kondisi terumbu karang pada lokasi lain, sehingga informasi kondisi terumbu karang di Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Indramayu bisa diketahui secara menyeluruh.
2. Pemantauan kualitas air secara periodik perlu dilakukan untuk mengetahui perubahan kualitas air yang berdampak pada terumbu karang.
3. Sosialisasi kepada para nelayan tentang pentingnya ekosistem terumbu karang dan zona-zona kawasan lindung perairan pulau biwak.

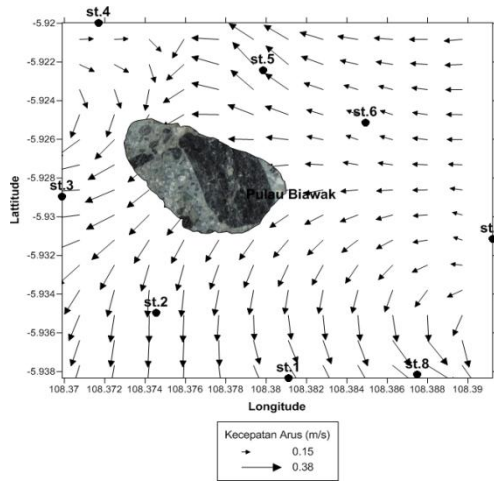
Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada TIM Dosen: (1) Noir P. Purba, S.Pi., MSi (2) Syawaludin A. Hrp, S.Pi., M.Sc. (3) Ankiq Taofiqurohman, ST (4) Donny Juliandri Prihadi atas bantuan dalam pengumpulan data dan asistensinya. Mengucapkan terima kasih banyak juga untuk TIM Komunitas Mahasiswa Instrumentasi (KOMITMEN). Tak lupa kepada penyelenggara proyek Biawak Exploration and Research (BIEX-RE 2012) tanpa adanya kegiatan tersebut tulisan ini tidak akan terwujud. Selain itu juga penulis mengucapkan terima banyak kepada TIM Organisasi Selam Perikanan dan Kelautan (OSEANIK) FPIK UNPAD yang telah membantu dalam pengumpulan data persentase tutupan karang baik data jenis karang ataupun gambar setiap lokasi penelitian.

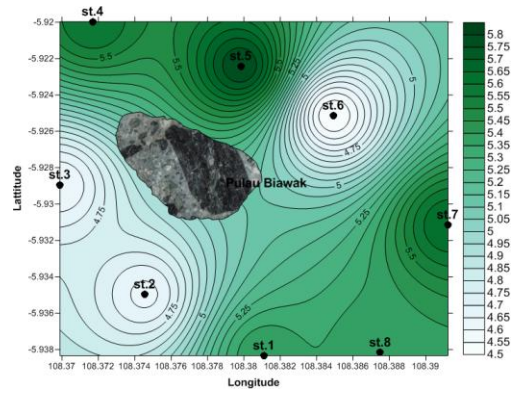
Daftar Pustaka

- Adriman dkk, 2012. Kondisi Ekosistem Terumbu Karang di Kawasan Konservasi Laut Daerah Bintan Timur Kepulauan Riau. Jurnal Bekala Perikanan Terubuk Vol. 40 No.1 ISSN 0126 - 4265. Bintan, Februari 2012. Hlm.22-35
- Andi, 2011. Principal Component Analysis (PCA) [diunduh pada 24 Agustus 2012]. [Dikutip dari: <http://andihasad.wordpress.com/2011/11/14/principal-component-analysis-pca/>].
- Arifin, 2007. Indeks Keberlanjutan Ekologi-Teknologi Ekosistem Terumbu Karang Di Selat Lembeh Kota Bitung. Jurnal Oseanologi dan Limnologi di Indonesia (2007) 33: 307 - 323. ISSN 0125 - 9830.
- Bengen, D. G., dan Alex S. W. Retraubun. 2006. *Menguak Realitas Dan Urgensi Pengelolaan Berbasis Eko-sosio Sistem Pulau-Pulau kecil*. Pusat Pembelajaran dan Pengembangan Pesisir dan Laut(P4L). 116 hlm.
- Darmadi, 2011. Kawasan Konservasi Laut Daerah Pulau Biawak Kabupaten Indramayu [diunduh pada 23 November 2011]. [Dikutip dari: <http://dhamadharna.wordpress.com/2011/11/23/kawasankonservasi-laut/>].
- Dinas Kelautan dan Perikanan Indramayu, 2005. Naskah Akademik Pengelolaan Kawasan Konservasi Laut Daerah (KKLD) Pulau Biawak Kabupaten Indramayu. PT Pratiwi Adhiguna.
- Johan, 2003. Metode Survei Terumbu Karang Indonesia. *Dalam Makalah Training Course: Karakteristik Biologi Karang*. Yayasan TERANGI.
- Kristiadhi, 2011. Distribusi Dan Kondisi Terumbu Karang Di Perairan Pulau Biawak Kabupaten Indramayu. Skripsi Ilmu Kelautan Universitas Padjadjaran. Jatinangor.

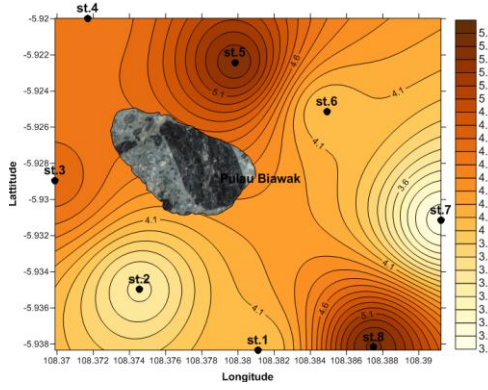
Lampiran



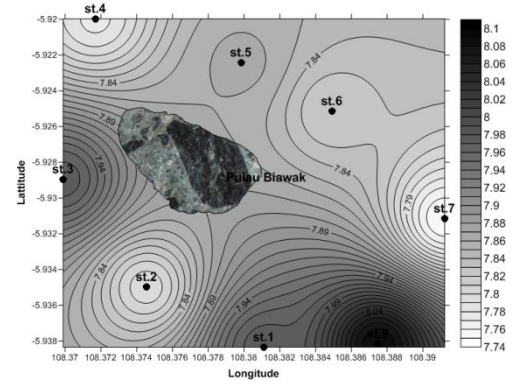
a)



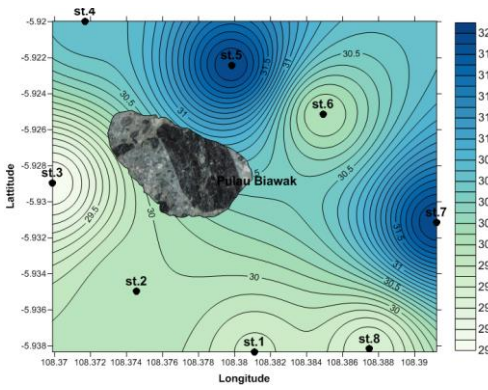
b)



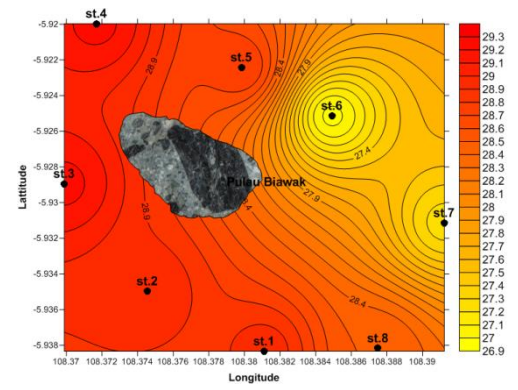
c)



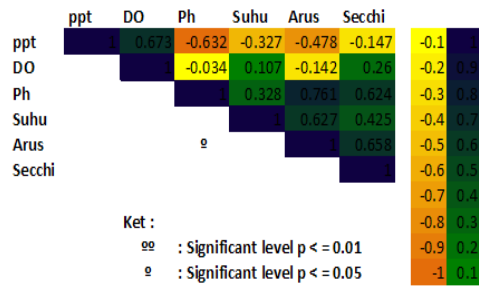
d)



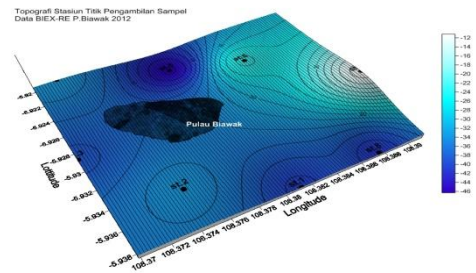
e)



f)



g)



h)

Gambar 3. (a) Arus; (b) Oksigen Terlarut; (c) Kecerahan; (d) pH; (e) Salinitas; (f) Suhu; (g) Koef.Korelasi Linier dari Lima Parameter; (h) Topografi Batimetri Stasiun Pengamatan

Variabilitas Luasan *Upwelling* Intensitas Kuat pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa Hingga Timor

Kunarso¹, Safwan Hadi², Nining Sari Ningsih², Mulyono S. Baskoro³

1)Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang

2)Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung

3) Jurusan FPIK Institut Pertanian Bogor

Abstrak

Pemahaman daerah *upwelling* yang baik bisa digunakan untuk membantu dalam menentukan waktu dan lokasi *fishing ground*, disamping itu untuk dasar dalam pembuatan kebijakan konservasi lingkungan laut. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji variabilitas luasan *upwelling* intensitas kuat akibat pengaruh variasi kejadian ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) dan IOD (*Indian Oscillation Dipole*). Metode penelitian ini adalah deskriptif dan statistik. Awal munculnya *upwelling* di perairan selatan Jawa hingga Timor umumnya terjadi pada bulan Juni dan berakhir bulan Oktober. Luasan *upwelling* maksimum umumnya terjadi pada bulan Agustus atau September, sedangkan luasan minimum terjadi pada bulan Juni atau Oktober. Variasi kasus kejadian ENSO dan IOD berpengaruh terhadap variabilitas luasan *upwelling* di lokasi tersebut, namun IOD positif tampak lebih berpengaruh daripada ENSO. Semakin tinggi nilai DMI (*Dipole Mode Index*) (indikator IOD) maka semakin luas *upwelling* yang terbentuk hingga puncaknya, dengan nilai rerata koefisien korelasi 0,88. Nilai SOI (*South Oscillation Index*)(indeks ENSO) berpengaruh terhadap kejadian *upwelling* namun rerata koefisien korelasinya yang positif lebih kecil sebesar 0,53. Kejadian La Nina cenderung mempersempit kejadian *upwelling*, bahkan yang bersamaan dengan kejadian IOD negatif menjadikan *upwelling* di perairan Selatan Jawa hingga Timor lemah selama periode tersebut.

Kata Kunci : ENSO, IOD, luasan *upwelling*, perairan selatan Jawa hingga Timor

Abstract

The well knowing of the *upwelling* area be able to be used to help determined fishing ground periode and location, beside that for basic in making marine environment conservation policy. The aim of the research are to study the strong intensity *upwelling* wide variability consequence effect of the ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) and IOD (*Indian Oscillation Dipole*) events variation. The research use descriptive and statistic methods. *Upwelling* phenomenon in Southern Java to Timor waters generally rise on June and the end on October. The maximum *upwelling* area commonly occur on August or September, while minimum area on June or October. Variation of ENSO and IOD events the effect to *upwelling* area variability in that location, but IOD positive show more effect than ENSO. Higher DMI (*Dipole Mode Index*) value (IOD indicator) create *upwelling* wider area, with the correlation coefficient average 0,88. The SOI (*South Oscillation Index*)(value (ENSO index) effect to *upwelling* in that location but have lower positive average correlation coefficient about 0,53. The La Niña events effect narrower *upwelling* area and if coupled with negative IOD events create a weaker *upwelling* intensity happen during the periode.

Key words: ENSO, IOD, *upwelling* wide, south Java to Timor Seas

Pendahuluan

Upwelling secara fisis merupakan peristiwa naiknya massa air dari lapisan bawah ke permukaan perairan (Nontji, 1987; Thurman, 1991; dan Stewart, 2002). Pemahaman daerah *upwelling* yang baik bisa digunakan untuk membantu dalam menentukan waktu dan lokasi *fishing ground* ikan serta upaya penentuan kebijakan dalam konservasi lingkungan laut. Beberapa hasil penelitian membuktikan daerah *upwelling* mempunyai produktivitas perikanan yang tinggi. Purba (1995), menemukan bahwa daerah dimana terjadi proses *upwelling* yang lebih kuat yang ditunjukkan dengan suhu permukaan laut yang lebih rendah dari sekitarnya dan konsentrasi nutrisi yang lebih tinggi, ternyata tangkapan tuna di lokasi tersebut lebih baik. Mathews *et al.*, (2001); telah membuktikan adanya kaitan nyata antara terjadinya *upwelling* dengan meningkatnya hasil tangkapan ikan lemuru dan cumi-cumi. Supangat dkk., (2004); Kunarso (2005); Kunarso dkk., (2007, 2008), telah membuktikan adanya kaitan nyata antara terjadinya *upwelling* dengan meningkatnya hasil tangkapan ikan tuna. Thurman (1991), menyatakan produktivitas perikanan di lokasi *upwelling* lebih tinggi daripada di lokasi *non-upwelling*. Pernyataan tersebut diperkuat oleh pernyataan Kunarso dkk., (2005, 2009), yang menjelaskan hasil tangkapan per unit usaha (*CPUE/ Catch Per Unit Effort*) ikan tuna di selatan Jawa dan barat Aceh, secara umum meningkat seiring dengan kejadian *upwelling*.

Pemahaman variabilitas *upwelling* di daerah perairan Selatan Jawa hingga Timor tidak bisa lepas dari pemahaman variabilitas anomali iklim global yang terjadi yaitu ENSO dan IOD. Hal ini karena variabilitas ENSO dan IOD secara umum bisa menyebabkan perubahan variabilitas *upwelling* (Marsac and Le Blanc, (1998); Saji *et al.*, (1999)). . Susanto *et al.*, (2001), menyimpulkan bahwa *upwelling* di selatan Jawa hingga barat Sumatera dibangkitkan oleh angin sepanjang pantai yang variabilitasnya berkaitan dengan variabilitas Monsun dan ENSO.

Berdasarkan uraian di atas, keterkaitan ENSO, IOD dan Monsun terhadap variabilitas *upwelling* khususnya di perairan Selatan Jawa hingga Timor, secara umum telah banyak diteliti. Namun belum ada yang secara khusus meneliti tentang bagaimana variasi perubahan luasan *upwelling* akibat adanya pengaruh variasi ENSO dan IOD. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji variabilitas luasan *upwelling* akibat pengaruh variasi kejadian ENSO dan IOD.

Studi Pustaka

Susanto *et al.*, (2001), menyimpulkan bahwa *upwelling* di selatan Jawa hingga barat Sumatera dibangkitkan oleh angin sepanjang pantai yang variabilitasnya berkaitan dengan variabilitas Monsun dan ENSO. Pada periode normal, *upwelling* terjadi pada awal Juni sampai pertengahan oktober, bermula dari selatan Jawa Timur dan bergerak ke barat laut dengan kecepatan 0,2 m/detik yang dipengaruhi angin sepanjang pantai (bertiup sejajar garis pantai) dan perubahan gaya Coriolis karena perubahan lintang. Angin timuran menyebabkan perluasan *upwelling* baik secara temporal maupun spasial.

Ningsih *et al.*, (2002), menunjukkan eksistensi *upwelling* mempunyai respon yang kuat terhadap Monsun. *On set* (mulai munculnya) *upwelling* terjadi pada bulan Juni. Pusat *upwelling* bergerak ke arah barat selama Monsun Tenggara (Juni – Agustus) dan juga pada periode transisi (April, Mei, September dan Oktober). *Upwelling* tersebut hilang pada saat Monsun Barat Laut (Desember – Februari) dan pada saat periode transisi (Nopember dan Maret).

Kunarso dkk., (2009), menunjukkan adanya variasi temporal dan spasial *upwelling* berkaitan dengan adanya variasi ENSO. Pada saat El Niño *upwelling* di sepanjang perairan selatan NTT hingga barat Sumatera lebih lama waktunya dan lebih luas distribusinya daripada pada saat normal dan La Niña. Sebaliknya pada saat La Niña *upwelling* di lokasi tersebut lebih singkat waktunya dan lebih sempit distribusinya daripada saat normal dan El Niño.

Rakhmaputri (2010), menyimpulkan pada saat El Niño bersamaan dengan IOD positif, maka *upwelling* yang terjadi di selatan Bali hingga Laut Sawu menjadi kuat. Sebaliknya pada saat La Niña bersamaan dengan IOD negatif maka *upwelling* yang terjadi di lokasi tersebut menjadi lemah.

Metodologi

Metodologi yang digunakan untuk memecahkan masalah riset adalah metode deskriptif dan statistik. Metode deskriptif dilakukan dengan cara mendeskripsikan keterkaitan kejadian ENSO dan IOD dengan perubahan luasan *upwelling* yang terjadi. Analisa statistik dilakukan dengan menghitung koefisien korelasi antara indeks ENSO dan IOD dengan luasan *upwelling* yang terjadi. Pelaksanaan riset ini dibagi dalam beberapa tahapan dibawah.

Pengumpulan data primer dan sekunder

Pengumpulan data primer dan sekunder diperoleh dari beberapa situs internet, instansi dan juga survei lapangan yang meliputi: (1). Data Variasi Iklim Global SOI (*South Oscillation Index*), anomali SST NINO-3,4 diperoleh dari: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml>; DMI (Dipole Mode Index) diperoleh dari http://www.jamstec.go.jp/frcgs/research/d1/iod/DATA/dmi_HadISST.txt. (2) Data Monsun berupa arah dan kecepatan angin secara spasial diperoleh dari <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>. Data hasil download dalam bentuk fnl (final analysis). Data ini kemudian diolah dengan software matlab. (3) Data suhu dan klorofil-a diperoleh dari citra MODIS, didownload dari:

<http://www.oceancolor.gfsc.nasa.gov>, dalam bentuk HDF (*Hierarchical Data Format*). Data level-3 (data citra yang mengandung nilai geofisik, telah melalui proses kalibrasi, koreksi atmosfer dan algoritma serta merupakan komposit dari level dibawahnya) ini diolah dengan software SeaDAS versi 5.0.

Analisis Variabilitas ENSO dan IOD

Analisis variabilitas ENSO dan IOD dilakukan dengan *plotting* secara grafis antara nilai SOI dan DMI. Berdasarkan grafik ini kemudian diambil empat kasus kajian (1) Kasus El Niño-IOD(-), periode kajian yang diambil yaitu Juni 2004 – Mei 2005, (2) Kasus El Niño-IOD(+), periode kajian diambil Juli 2002 – Juni 2003, (3) Kasus La Niña-IOD (-), periode kajian diambil Juni 1998 – Mei 1999, dan (4) Kasus La Niña-IOD(+) periode kajian diambil Oktober 2007 – September 2008. Alasan pengambilan periode kajian bulan-bulan beberapa tahun di atas karena pada periode-periode tersebut terdapat variabilitas ENSO dan IOD sesuai dengan kasus kajian, disamping itu yang lebih penting pada periode-periode tersebut tersedia data-data oseanografi yang cukup. Data-data tahun sebelumnya dalam kasus yang serupa, diasumsikan mempunyai karakteristik oseanografi yang sama.

Penentuan lokasi dan luasan *upwelling*

Penentuan luasan *upwelling* bulanan dilakukan dengan menggunakan software ArcGIS dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) Mengolah data suhu permukaan laut dan klorofil-a dengan software SeaDAS dan menyimpan output dalam bentuk ASCII. (2). Mengurutkan data ASCII yang diperoleh menurut urutan lintang dan bujurnya kemudian menyimpan dalam bentuk ekstensi teks (*.txt). (3). Mengubah data ekstensi teks (*.txt) ke dalam bentuk shape file.(4). Menginterpolasi data suhu permukaan laut dan klorofil-a dalam bentuk shape file tersebut

dengan Aplikasi ArcGIS 9.2 untuk mendapatkan distribusi nilai spasial-nya. (5). Mengklasifikasikan data spasial suhu permukaan laut dan konsentrasi khlorofil-a sesuai dengan klasifikasi yang memenuhi kriteria *upwelling* dalam Kunarso (2011) (**Tabel 1**). (6). Menghitung *shape* luasan *upwelling* sesuai dengan kriteria intensitas *upwelling* kuat.

Tabel 1. Kriteria intensitas *upwelling* (Sumber: Kunarso , 2011)

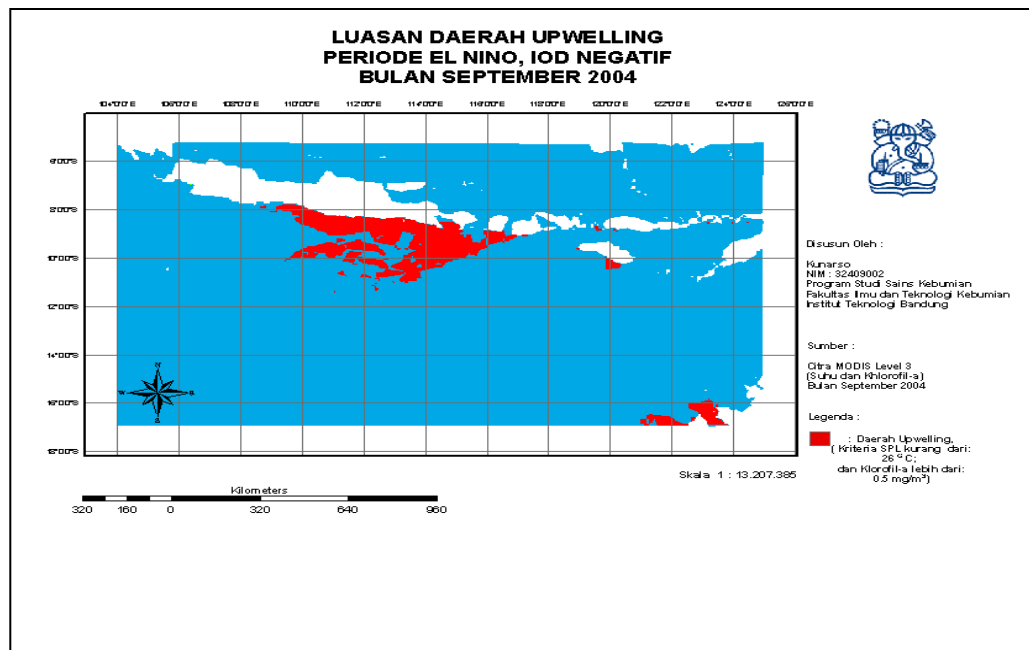
Simbol	Suhu (°C)	Klorofil-a (mg/m ³)	Kriteria <i>Upwelling</i>
•	27,5 – 28,5	< 0,5	Intensitas <i>upwelling</i> lemah
√	26 – 27,5	≥ 0,5	Intensitas <i>upwelling</i> sedang
!	≤ 26	≥ 0,5	Intensitas <i>upwelling</i> kuat

Hasil, Pembahasan dan Diskusi

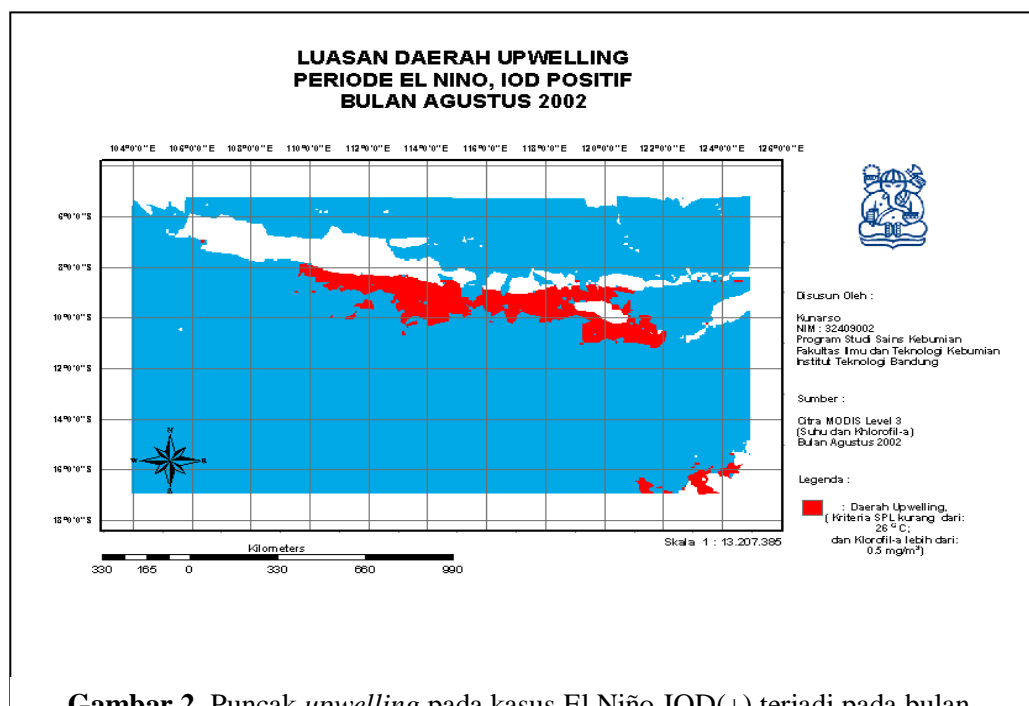
Hasil dari perhitungan luasan *upwelling* pada variasi kejadian ENSO dan IOD ditabulasi dalam **Tabel 2**. Distribusi spasial luasan *upwelling* intensitas kuat pada saat luasan mencapai maksimum didiskripsikan dalam **Gambar 1**, **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Tabel 2. Perkembangan luasan *upwelling* bulanan dalam empat kasus kajian

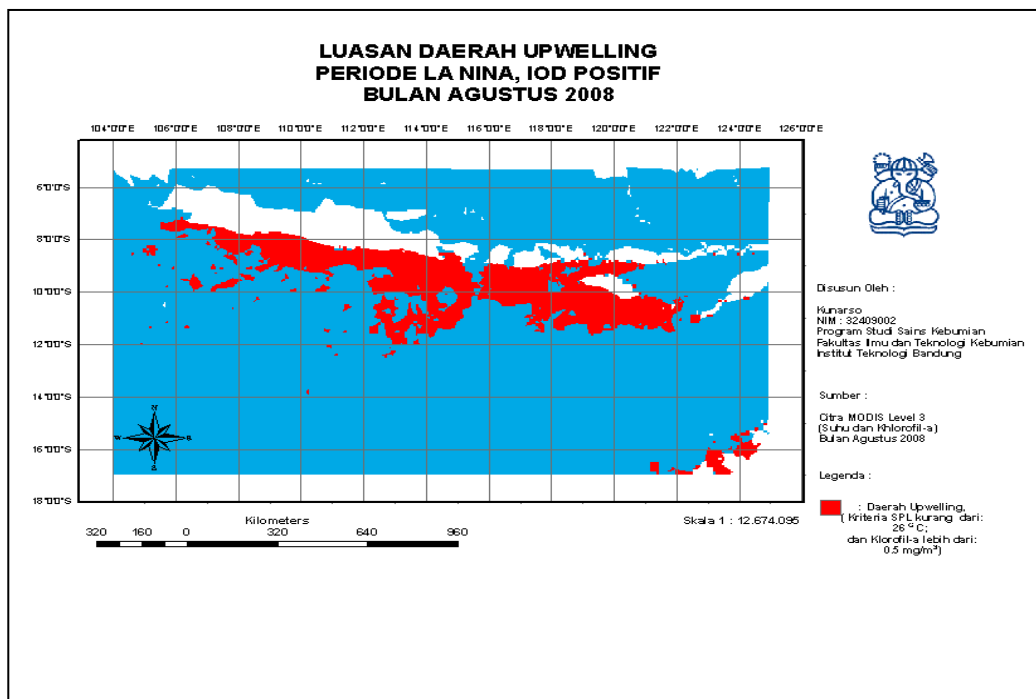
No	Bulan	Luas <i>Upwelling</i> (km ²) dalam Empat Kasus Kajian			
		El Niño- IOD(-)	El Niño- IOD(+)	La Niña- IOD(-)	La Niña- IOD(+)
1.	Juni	1.222,8	106,5	0	55.630,8
2.	Juli	1.992,5	5.731,4	0	261.344,4
3.	Agustus	53.221,6	160.921,5	0	312.638,5
4.	September	119.000,3	117.195,5	0	44.528,8
5.	Oktober	165,4	1.093,1	0	70.873,9
Koefisien korelasi IOD dan luas <i>upwelling</i> hingga puncaknya		0,955	0,95	-	0,74



Gambar 1. Puncak *upwelling* kasus El Niño-IOD(-) terjadi bulan September 2004, daerah *upwelling* memanjang dari perairan Selatan Jawa Tengah hingga selatan Lombok



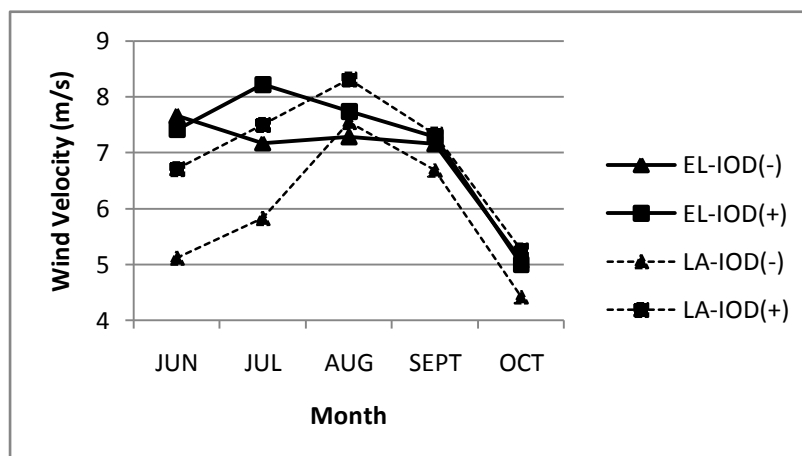
Gambar 2. Puncak *upwelling* pada kasus El Niño-IOD(+) terjadi pada bulan Agustus 2002, daerah *upwelling* memanjang dari perairan laut selatan Jawa Tengah hingga selatan Pulau Sumbawa



Gambar 3. Puncak *upwelling* pada kasus La Niña-IOD(+) terjadi bulan Agustus 2008, *upwelling* terjadi sangat panjang dari perairan Selatan Jawa Barat hingga selatan Pulau Sumbawa.

Berdasarkan data dalam **Tabel 2** tampak awal munculnya *upwelling* intensitas kuat umumnya bulan Juni, hal ini terjadi berkaitan dengan awal dari musim timuran (Monsun Tenggara), dimana angin Monsun Tenggara mulai berhembus intensif ke arah barat daya sejajar dengan garis pantai deretan pulau-pulau Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat hingga selatan Jawa Timur. Awal Musim Timuran bulan Juni telah dijelaskan oleh Wyrcki, (1961) dan munculnya *upwelling* bulan Juni juga telah sesuai dengan beberapa hasil penelitian diantaranya Susanto dkk, (2001); Ningsih dkk, (2002); dan Kunarso, (2005). Kekuatan angin menentukan apakah *upwelling* yang terbentuk mempunyai intensitas kuat atau lemah. Dalam kasus La Niña-IOD(-) *upwelling* intensitas kuat tidak dijumpai, hal ini terjadi karena kekuatan angin yang berhembus diduga tidak mampu membangkitkan *upwelling* intensitas kuat karena secara umum kecepatannya paling lemah diantara tiga kasus lain (**Gambar 4**). Pada bulan Agustus kecepatan angin memang lebih lebih tinggi daripada kasus El Niño-IOD(-), namun tetap tidak mampu

membangkitkan *upwelling* intensitas kuat, hal ini terjadi diduga kecepatan angin yang tinggi terjadi dalam periode yang singkat.



Gambar 4. Pada kasus La Niña-IOD(+) kecepatan angin mulai bulan Agustus menunjukkan kecepatan tertinggi, disusul El Niño-IOD (+), El Niño-IOD (-), dan kecepatan angin terlemah terjadi pada kasus La Niña-IOD(-).

Puncak dari kejadian *upwelling* dengan distribusi luasan maksimum umumnya terjadi pada bulan Agustus atau September. Luasan *upwelling* intensitas kuat khususnya pada saat kondisi maksimum, ditemukan bahwa *upwelling* terluas terjadi pada saat La Niña-IOD(+) sebesar 312.638,5 km², kemudian disusul pada kasus El Niño-IOD(+) sebesar 160.921,5 km², dan yang paling sempit pada kasus El Niño-IOD(-) sebesar 119.000,3 km (Tabel 1). Variabilitas luasan *upwelling* tersebut tampak berkaitan erat dengan kecepatan angin monsun yang terjadi (Gambar 4). Sedangkan variabilitas angin monsun dipengaruhi oleh ENSO dan IOD, hal ini tampak pada kasus La Niña-IOD(+). Secara teori pada kasus tersebut *upwelling* yang terjadi di selatan Jawa hingga Timor dilemahkan oleh fenomena La Niña, namun nilai DMI positif yang tinggi (Tabel 3) berpengaruh meningkatkan intensitas *upwelling* yang terjadi. Pada saat La Niña-IOD(+), tekanan udara rendah ada di Samudera Hindia bagian barat dan tekanan udara yang tinggi ada di Samudera Hindia Timur, hal ini mengakibatkan angin bertiup kuat dari Samudera Hindia bagian timur ke arah barat (Marsac and Le Blanc, 1998; Saji et al., 1999). Dengan semakin besarnya nilai indeks IOD positif maka angin akan semakin kuat berhembus ke arah barat. Angin merupakan penggerak utama dari proses *upwelling* (Susanto et al., 2001; 2006). Dalam kasus La Niña-IOD(+) tahun 2008 kecepatan angin mulai bulan Agustus hingga Oktober menunjukkan nilai tertinggi daripada tiga kasus yang lain (Gambar 4), maka sangat logis jika *upwelling* yang terjadi juga lebih luas distribusinya hingga mencapai 312.638,5 km², yang memanjang dari selatan Jawa Barat hingga Sumbawa (Gambar 3). Berdasarkan analisis statistik dari awal munculnya *upwelling* hingga mencapai puncaknya diperoleh hubungan yang sangat kuat antara luasan *upwelling* yang terjadi dengan nilai DMI dengan rerata koefisien korelasi 0,88, sedangkan hubungan antara luasan

upwelling yang terbentuk dengan SOI (indek ENSO) menunjukkan rerata koefisien korelasi yang positif sebesar 0,53. Hal ini menunjukkan bahwa luasan *upwelling* di selatan Jawa hingga Timor lebih dipengaruhi oleh nilai IOD daripada ENSO.

Tabel 3. Urutan nilai IOD dari yang terbesar dan luasan *upwelling* yang terbentuk pada saat puncak *upwelling* dari empat kasus kajian

No	Kasus Kajian	Nilai Indeks IOD	Rerata Luasan <i>Upwelling</i> (km ²)
1.	La Niña-IOD positif	1,297	312.638,5
2.	El Nino IOD positif	0,781	160.921,5
3.	El Niño-IOD negatif	-0,189	119.000,3
4.	La Niña-IOD negatif	-1,406	0

Kesimpulan

Awal munculnya *upwelling* intensitas kuat di perairan Selatan Jawa hingga Sumbawa umumnya terjadi bulan Juni dan berakhir pada bulan Oktober. Luasan *upwelling* intensitas kuat maksimum umumnya terjadi pada bulan Agustus atau September dan luasan minimum terjadi pada bulan Juni atau Oktober. Dalam kasus La Niña-IOD(-) sama sekali tidak dijumpai *upwelling* kuat selama musim timur, diduga karena kecepatan angin yang terbentuk tidak mampu membangkitkan *upwelling* kuat.

Variasi kasus ENSO dan IOD berpengaruh terhadap variabilitas luasan *upwelling* yang terjadi di perairan selatan Jawa hingga Timor, namun IOD positif tampak lebih berpengaruh terhadap variabilitas luasan *upwelling* yang terjadi. Semakin tinggi nilai DMI maka semakin luas *upwelling* yang terbentuk. Hubungan antara luasan *upwelling* hingga puncaknya dengan nilai DMI sangat erat, dengan rerata nilai koefisien korelasi sebesar 0,88. Nilai SOI (indeks ENSO) berpengaruh terhadap luasan *upwelling* di lokasi tersebut dengan pengaruh yang lebih kecil, hal ini tampak dari rerata nilai koefisien korelasi yang positif sebesar 0,53.

Ucapan Terima Kasih

Dengan kerendahan hati kami mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas segala bantuannya sehingga penelitian dan paper ini bisa bisa terwujud, antara lain kepada: Ibu Ivonne M. Radjawane, M.Sc., Ph.D (Ketua Program Studi Doktor Sains Kebumian ITB), Ibadurrahman, S. Kel (asisten peneliti) dan berbagai pihak yang telah membantu pelaksanaan riset ini yang tidak memungkinkan untuk kami sebutkan satu-persatu.

Daftar Pustaka

- Kunarso. 2005. Kajian Penentuan Lokasi-lokasi *Upwelling* di Perairan Indonesia dan Sekitarnya Serta Kaitannya dengan *Fishing Ground* Tuna. (Tesis) Program Studi Magister Oseanografi, Sains Atmosfir, dan Seismologi, FIKTM, ITB, Bandung.
- Kunarso, S. Hadi, dan N.S. Ningsih. 2005. Kajian Lokasi *Upwelling* Untuk Penentuan Fishing Ground Potensial Ikan Tuna. *Jurnal Ilmiah Ilmu Kelautan*, **Volume 10, No 2**, hal 61 – 67.
- Kunarso, A. Supangat, dan Wiweka. 2007. Studi Keunggulan Aplikasi Teknologi Peramalan *Fishing Ground* dengan Data *Upwelling* dan *Real Time Satellite* untuk Berburu Ikan Tuna pada Variasi Iklim Global. Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kunarso, A. Supangat, dan Wiweka. 2008. Studi Keunggulan Aplikasi Teknologi Peramalan *Fishing Ground* dengan Data *Upwelling* dan *Real Time Satellite* untuk Berburu Ikan Tuna pada Variasi Iklim Global. Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kunarso, S. Hadi, N.S. Ningsih, dan A. Supangat. 2009. *Upwelling* dan Fishing Ground Tuna di Laut Nusantara. Buku Referensi Hasil Penelitian. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang. 199 hal.
- Kunarso. 2011. Kajian Pengaruh Kejadian ENSO, IOD dan Monsun Terhadap Waktu dan Lokasi Panen Tuna di Wilayah Pengelolaan Perikanan Samudera Hindia IXC dan IXD. Laporan Kemajuan Disertasi 1. Program Doktor Sains Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Marsac, F., and J.L. Le Blanc. 1998. Dynamics of ENSO Events in the Indian Ocean: To What Extent Would Recruitment and Catchability of Tropical Tunas be Affected?. IOTC Proceeding. No 1, 9-14 Nopember, Victoria.

- Mathews, C.P., A. Ghofar, Gede, S., N. Hendiati, D. Arief, and H. Lestiana. 2001. Effects of Frontal systems, *Upwelling*, and El-Niño on the Small Pelagic Fisheries of the Lesser Sunda Island, Indonesia. ed. T. Nishida; P.J.Kailola and C.E. Hollingworth, Fishery GIS Research Group Saitama, Japan.
- Ningsih, N.S., Hadi, S., dan Yusuf, M. 2002. *Upwelling* in the Southern Coast of Java and Its Relation to Seasonal Ocean Circulation by Using a Three-Dimensional Ocean Model. Proceeding Pan Ocean Remote Sensing Conference 2: 669-672
- Nontji. 1987. Laut Nusantara. PT. Djambatan, Jakarta
- Purba, M. 1995. *Upwelling* in the Water South of West Java and Its Application for Fisheries. Paper presented at International Workshop on The Throughflow Studies in and around Indonesia Water, 10th-12th October 1995, Jakarta, Indonesia, p 37-47.
- Rakhmaputri, N. 2010. Kajian Variabilitas *Upwelling* di Perairan Selatan Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Laut Sawu dengan Menggunakan Penginderaan Jauh. Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Saji, N.H, B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, and T.Yamagata, 1999, A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean, *J. Nature*, **401**, 360-363.
- Stewart, R.H. 2002. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography, Texas A & M University, 341 p.
- Supangat, A, N.S. Ningsih, P.A. Winarso, M., Yusuf, dan D.N. Handiani . 2004. Model Sebaran Suhu Permukaan Laut untuk Mempelajari Pergerakan “Kolam Air Hangat” (Sebagai Tambang Tuna) di Perairan Indonesia, dan Korelasinya dengan Variabilitas Iklim. Laporan Akhir Tahun III RUT IX, Bidang Kelautan, Kebumihan dan Kedirgantaraan, LPPM-ITB, Kemenristek dan LIPI.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, and Q. Zheng. 2001. *Upwelling* Along the Coast of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO. *J. Geophysical Research Letters*, American Geophysical Union. USA, **Vol. 28, No. 8**, p. 1599-1602.
- Susanto, R.D., Moore, T.S. and J. Marra. 2006. Ocean Color Variability in Indonesian Seas during the SeaWIFS Era. *Journal Geachemistry Geophysics Geosystem*, **7**: 1525 – 2027.
- Thurman, H.V. 1991. Introductory Oceanography. Sixth Edition, Macmillan Publishing Company, New York.

Wyrтки, K.A. 1961. Naga Report Volume 2: Physical Oceanography of the Southeast

<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml>, (diakses tanggal 1 Februari 2011)

http://www.jamstec.go.jp/frcgs/research/d1/iod/DATA/dmi_HadISST.txt, (diakses tanggal 1 Maret 2011)

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>, (diakses tanggal 1 Maret 2011)

<http://www.oceancolor.gfsc.nasa.gov>, (diakses mulai tanggal 1 Januari 2011)

Variabilitas Luasan *Upwelling* Intensitas Kuat pada Variasi Kejadian ENSO dan IOD di Perairan Selatan Jawa Hingga Timor

Kunarso¹, Safwan Hadi², Nining Sari Ningsih², Mulyono S. Baskoro³

1)Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang

2)Program Studi Oseanografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung

3) Jurusan FPIK Institut Pertanian Bogor

Abstrak

Pemahaman daerah *upwelling* yang baik bisa digunakan untuk membantu dalam menentukan waktu dan lokasi *fishing ground*, disamping itu untuk dasar dalam pembuatan kebijakan konservasi lingkungan laut. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji variabilitas luasan *upwelling* intensitas kuat akibat pengaruh variasi kejadian ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) dan IOD (*Indian Oscillation Dipole*). Metode penelitian ini adalah deskriptif dan statistik. Awal munculnya *upwelling* di perairan selatan Jawa hingga Timor umumnya terjadi pada bulan Juni dan berakhir bulan Oktober. Luasan *upwelling* maksimum umumnya terjadi pada bulan Agustus atau September, sedangkan luasan minimum terjadi pada bulan Juni atau Oktober. Variasi kasus kejadian ENSO dan IOD berpengaruh terhadap variabilitas luasan *upwelling* di lokasi tersebut, namun IOD positif tampak lebih berpengaruh daripada ENSO. Semakin tinggi nilai DMI (*Dipole Mode Index*) (indikator IOD) maka semakin luas *upwelling* yang terbentuk hingga puncaknya, dengan nilai rerata koefisien korelasi 0,88. Nilai SOI (*South Oscillation Index*)(indeks ENSO) berpengaruh terhadap kejadian *upwelling* namun rerata koefisien korelasinya yang positif lebih kecil sebesar 0,53. Kejadian La Nina cenderung mempersempit kejadian *upwelling*, bahkan yang bersamaan dengan kejadian IOD negatif menjadikan *upwelling* di perairan Selatan Jawa hingga Timor lemah selama periode tersebut.

Kata Kunci : ENSO, IOD, luasan *upwelling*, perairan selatan Jawa hingga Timor

Abstract

The well knowing of the *upwelling* area be able to be used to help determined fishing ground periode and location, beside that for basic in making marine environment conservation policy. The aim of the research are to study the strong intensity *upwelling* wide variability consequence effect of the ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) and IOD (*Indian Oscillation Dipole*) events variation. The research use descriptive and statistic methods. *Upwelling* phenomenon in Southern Java to Timor waters generally rise on June and the end on October. The maximum *upwelling* area commonly occur on August or September, while minimum area on June or October. Variation of ENSO and IOD events the effect to *upwelling* area variability in that location, but IOD positive show more effect than ENSO. Higher DMI (*Dipole Mode Index*) value (IOD indicator) create *upwelling* wider area, with the correlation coefficient average 0,88. The SOI (*South Oscillation Index*)(value (ENSO index) effect to *upwelling* in that location but have lower positive average correlation coefficient about 0,53. The La Niña events effect narrower *upwelling* area and if coupled with negative IOD events create a weaker *upwelling* intensity happen during the periode.

Key words: ENSO, IOD, *upwelling* wide, south Java to Timor Seas

Pendahuluan

Upwelling secara fisis merupakan peristiwa naiknya massa air dari lapisan bawah ke permukaan perairan (Nontji, 1987; Thurman, 1991; dan Stewart, 2002). Pemahaman daerah *upwelling* yang baik bisa digunakan untuk membantu dalam menentukan waktu dan lokasi *fishing ground* ikan serta upaya penentuan kebijakan dalam konservasi lingkungan laut. Beberapa hasil penelitian membuktikan daerah *upwelling* mempunyai produktivitas perikanan yang tinggi. Purba (1995), menemukan bahwa daerah dimana terjadi proses *upwelling* yang lebih kuat yang ditunjukkan dengan suhu permukaan laut yang lebih rendah dari sekitarnya dan konsentrasi nutrisi yang lebih tinggi, ternyata tangkapan tuna di lokasi tersebut lebih baik. Mathews *et al.*, (2001); telah membuktikan adanya kaitan nyata antara terjadinya *upwelling* dengan meningkatnya hasil tangkapan ikan lemuru dan cumi-cumi. Supangat dkk., (2004); Kunarso (2005); Kunarso dkk., (2007, 2008), telah membuktikan adanya kaitan nyata antara terjadinya *upwelling* dengan meningkatnya hasil tangkapan ikan tuna. Thurman (1991), menyatakan produktivitas perikanan di lokasi *upwelling* lebih tinggi daripada di lokasi *non-upwelling*. Pernyataan tersebut diperkuat oleh pernyataan Kunarso dkk., (2005, 2009), yang menjelaskan hasil tangkapan per unit usaha (CPUE/ *Catch Per Unit Effort*) ikan tuna di selatan Jawa dan barat Aceh, secara umum meningkat seiring dengan kejadian *upwelling*.

Pemahaman variabilitas *upwelling* di daerah perairan Selatan Jawa hingga Timor tidak bisa lepas dari pemahaman variabilitas anomali iklim global yang terjadi yaitu ENSO dan IOD. Hal ini karena variabilitas ENSO dan IOD secara umum bisa menyebabkan perubahan variabilitas *upwelling* (Marsac and Le Blanc, (1998); Saji *et al.*, (1999)). . Susanto *et al.*, (2001), menyimpulkan bahwa *upwelling* di selatan Jawa hingga barat Sumatera dibangkitkan oleh angin sepanjang pantai yang variabilitasnya berkaitan dengan variabilitas Monsun dan ENSO.

Berdasarkan uraian di atas, keterkaitan ENSO, IOD dan Monsun terhadap variabilitas *upwelling* khususnya di perairan Selatan Jawa hingga Timor, secara umum telah banyak diteliti. Namun belum ada yang secara khusus meneliti tentang bagaimana variasi perubahan luasan *upwelling* akibat adanya pengaruh variasi ENSO dan IOD. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji variabilitas luasan *upwelling* akibat pengaruh variasi kejadian ENSO dan IOD.

Studi Pustaka

Susanto *et al.*, (2001), menyimpulkan bahwa *upwelling* di selatan Jawa hingga barat Sumatera dibangkitkan oleh angin sepanjang pantai yang variabilitasnya berkaitan dengan variabilitas Monsun dan ENSO. Pada periode normal, *upwelling* terjadi pada awal Juni sampai pertengahan oktober, bermula dari selatan Jawa Timur dan bergerak ke barat laut dengan kecepatan 0,2 m/detik yang dipengaruhi angin sepanjang pantai (bertiup sejajar garis pantai) dan perubahan gaya Coriolis karena perubahan lintang. Angin timuran menyebabkan perluasan *upwelling* baik secara temporal maupun spasial.

Ningsih *et al.*, (2002), menunjukkan eksistensi *upwelling* mempunyai respon yang kuat terhadap Monsun. *On set* (mulai munculnya) *upwelling* terjadi pada bulan Juni. Pusat *upwelling* bergerak ke arah barat selama Monsun Tenggara (Juni – Agustus) dan juga pada periode transisi (April, Mei, September dan Oktober). *Upwelling* tersebut hilang pada saat Monsun Barat Laut (Desember – Februari) dan pada saat periode transisi (Nopember dan Maret).

Kunarso dkk., (2009), menunjukkan adanya variasi temporal dan spasial *upwelling* berkaitan dengan adanya variasi ENSO. Pada saat El Niño *upwelling* di sepanjang perairan selatan NTT hingga barat Sumatera lebih lama waktunya dan lebih luas distribusinya daripada pada saat normal dan La Niña. Sebaliknya pada saat La Niña *upwelling* di lokasi tersebut lebih singkat waktunya dan lebih sempit distribusinya daripada saat normal dan El Niño.

Rakhmaputri (2010), menyimpulkan pada saat El Niño bersamaan dengan IOD positif, maka *upwelling* yang terjadi di selatan Bali hingga Laut Sawu menjadi kuat. Sebaliknya pada saat La Niña bersamaan dengan IOD negatif maka *upwelling* yang terjadi di lokasi tersebut menjadi lemah.

Metodologi

Metodologi yang digunakan untuk memecahkan masalah riset adalah metode deskriptif dan statistik. Metode deskriptif dilakukan dengan cara mendeskripsikan keterkaitan kejadian ENSO dan IOD dengan perubahan luasan *upwelling* yang terjadi. Analisa statistik dilakukan dengan menghitung koefisien korelasi antara indeks ENSO dan IOD dengan luasan *upwelling* yang terjadi. Pelaksanaan riset ini dibagi dalam beberapa tahapan dibawah.

Pengumpulan data primer dan sekunder

Pengumpulan data primer dan sekunder diperoleh dari beberapa situs internet, instansi dan juga survei lapangan yang meliputi: (1). Data Variasi Iklim Global SOI (*South Oscillation Index*), anomali SST NINO-3,4 diperoleh dari: <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml>; DMI (Dipole Mode Index) diperoleh dari http://www.jamstec.go.jp/frcgs/research/d1/iod/DATA/dmi_HadISST.txt. (2) Data Monsun berupa arah dan kecepatan angin secara spasial diperoleh dari <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>. Data hasil download dalam bentuk fnl (final analysis). Data ini kemudian diolah dengan software matlab. (3) Data suhu dan klorofil-a diperoleh dari citra MODIS, didownload dari:

<http://www.oceancolor.gfsc.nasa.gov>, dalam bentuk HDF (*Hierarchical Data Format*). Data level-3 (data citra yang mengandung nilai geofisik, telah melalui proses kalibrasi, koreksi atmosfer dan algoritma serta merupakan komposit dari level dibawahnya) ini diolah dengan software SeaDAS versi 5.0.

Analisis Variabilitas ENSO dan IOD

Analisis variabilitas ENSO dan IOD dilakukan dengan *plotting* secara grafis antara nilai SOI dan DMI. Berdasarkan grafik ini kemudian diambil empat kasus kajian (1) Kasus El Niño-IOD(-), periode kajian yang diambil yaitu Juni 2004 – Mei 2005, (2) Kasus El Niño-IOD(+), periode kajian diambil Juli 2002 – Juni 2003, (3) Kasus La Niña-IOD (-), periode kajian diambil Juni 1998 – Mei 1999, dan (4) Kasus La Niña-IOD(+) periode kajian diambil Oktober 2007 – September 2008. Alasan pengambilan periode kajian bulan-bulan beberapa tahun di atas karena pada periode-periode tersebut terdapat variabilitas ENSO dan IOD sesuai dengan kasus kajian, disamping itu yang lebih penting pada periode-periode tersebut tersedia data-data oseanografi yang cukup. Data-data tahun sebelumnya dalam kasus yang serupa, diasumsikan mempunyai karakteristik oseanografi yang sama.

Penentuan lokasi dan luasan *upwelling*

Penentuan luasan *upwelling* bulanan dilakukan dengan menggunakan software ArcGIS dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) Mengolah data suhu permukaan laut dan klorofil-a dengan software SeaDAS dan menyimpan output dalam bentuk ASCII. (2). Mengurutkan data ASCII yang diperoleh menurut urutan lintang dan bujurnya kemudian menyimpan dalam bentuk ekstensi teks (*.txt). (3). Mengubah data ekstensi teks (*.txt) ke dalam bentuk shape file.(4). Menginterpolasi data suhu permukaan laut dan klorofil-a dalam bentuk shape file tersebut

dengan Aplikasi ArcGIS 9.2 untuk mendapatkan distribusi nilai spasial-nya. (5). Mengklasifikasikan data spasial suhu permukaan laut dan konsentrasi khlorofil-a sesuai dengan klasifikasi yang memenuhi kriteria *upwelling* dalam Kunarso (2011) (**Tabel 1**). (6). Menghitung *shape* luasan *upwelling* sesuai dengan kriteria intensitas *upwelling* kuat.

Tabel 1. Kriteria intensitas *upwelling* (Sumber: Kunarso , 2011)

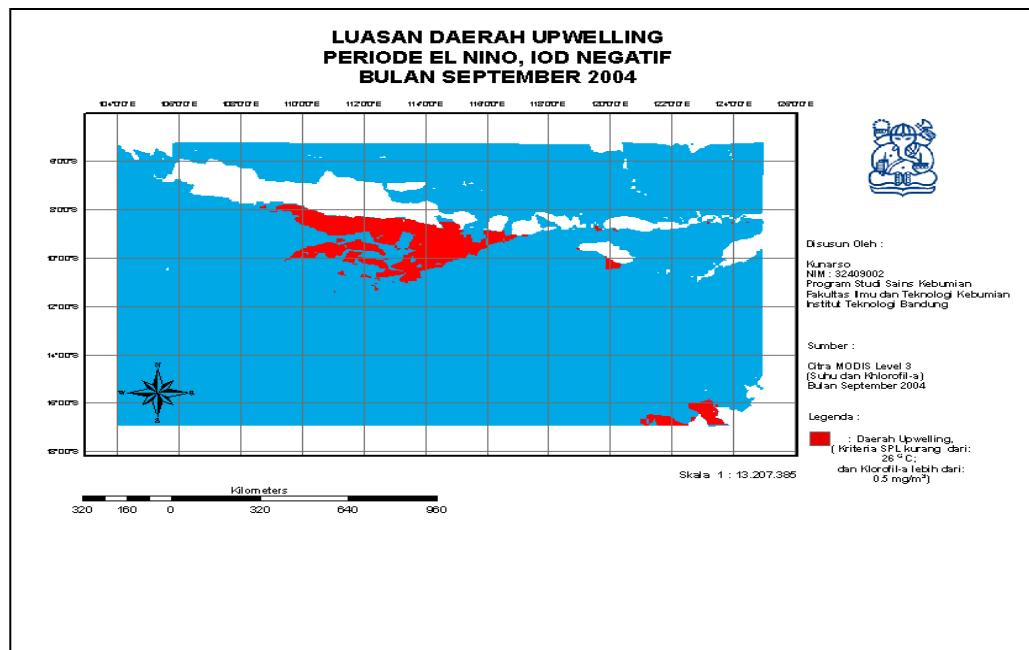
Simbol	Suhu (°C)	Klorofil-a (mg/m ³)	Kriteria <i>Upwelling</i>
•	27,5 – 28,5	< 0,5	Intensitas <i>upwelling</i> lemah
√	26 – 27,5	≥ 0,5	Intensitas <i>upwelling</i> sedang
!	≤ 26	≥ 0,5	Intensitas <i>upwelling</i> kuat

Hasil, Pembahasan dan Diskusi

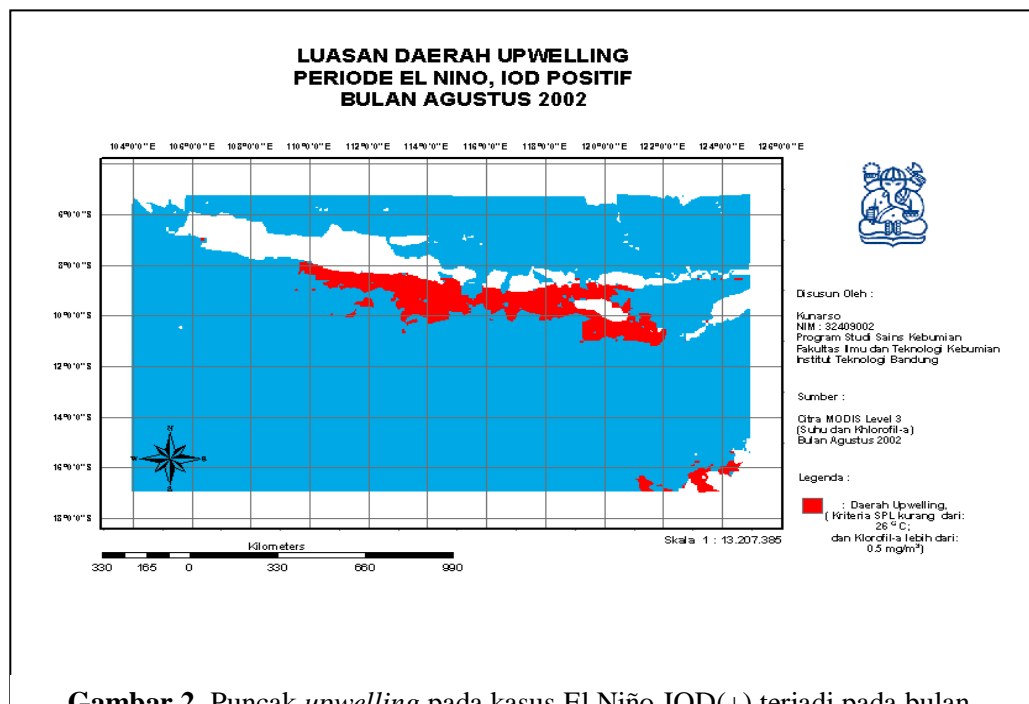
Hasil dari perhitungan luasan *upwelling* pada variasi kejadian ENSO dan IOD ditabulasi dalam **Tabel 2**. Distribusi spasial luasan *upwelling* intensitas kuat pada saat luasan mencapai maksimum didiskripsikan dalam **Gambar 1**, **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Tabel 2. Perkembangan luasan *upwelling* bulanan dalam empat kasus kajian

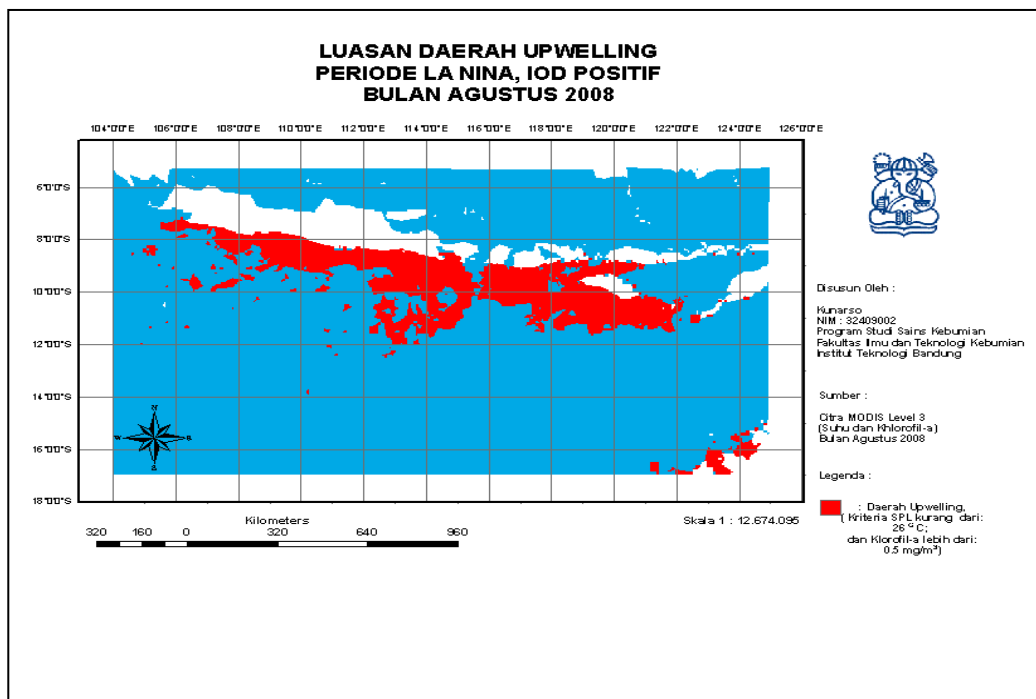
No	Bulan	Luas <i>Upwelling</i> (km ²) dalam Empat Kasus Kajian			
		El Niño- IOD(-)	El Niño- IOD(+)	La Niña- IOD(-)	La Niña- IOD(+)
1.	Juni	1.222,8	106,5	0	55.630,8
2.	Juli	1.992,5	5.731,4	0	261.344,4
3.	Agustus	53.221,6	160.921,5	0	312.638,5
4.	September	119.000,3	117.195,5	0	44.528,8
5.	Oktober	165,4	1.093,1	0	70.873,9
Koefisien korelasi IOD dan luas <i>upwelling</i> hingga puncaknya		0,955	0,95	-	0,74



Gambar 1. Puncak *upwelling* kasus El Niño-IOD(-) terjadi bulan September 2004, daerah *upwelling* memanjang dari perairan Selatan Jawa Tengah hingga selatan Lombok



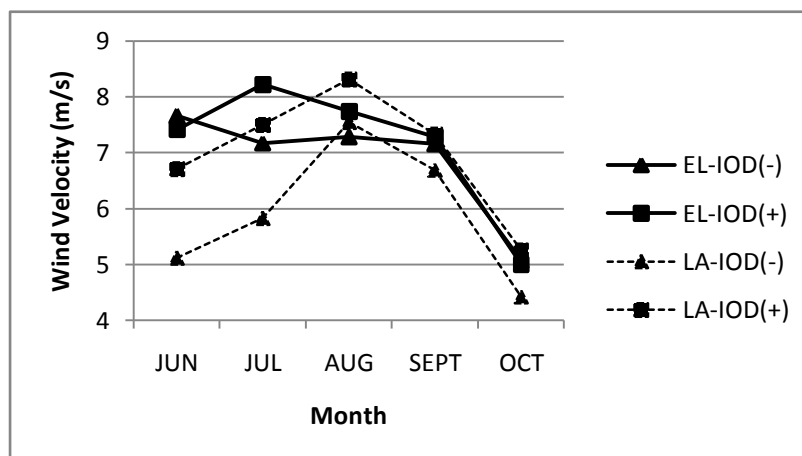
Gambar 2. Puncak *upwelling* pada kasus El Niño-IOD(+) terjadi pada bulan Agustus 2002, daerah *upwelling* memanjang dari perairan laut selatan Jawa Tengah hingga selatan Pulau Sumbawa



Gambar 3. Puncak *upwelling* pada kasus La Niña-IOD(+) terjadi bulan Agustus 2008, *upwelling* terjadi sangat panjang dari perairan Selatan Jawa Barat hingga selatan Pulau Sumbawa.

Berdasarkan data dalam **Tabel 2** tampak awal munculnya *upwelling* intensitas kuat umumnya bulan Juni, hal ini terjadi berkaitan dengan awal dari musim timuran (Monsun Tenggara), dimana angin Monsun Tenggara mulai berhembus intensif ke arah barat daya sejajar dengan garis pantai deretan pulau-pulau Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat hingga selatan Jawa Timur. Awal Musim Timuran bulan Juni telah dijelaskan oleh Wyrcki, (1961) dan munculnya *upwelling* bulan Juni juga telah sesuai dengan beberapa hasil penelitian diantaranya Susanto dkk, (2001); Ningsih dkk, (2002); dan Kunarso, (2005). Kekuatan angin menentukan apakah *upwelling* yang terbentuk mempunyai intensitas kuat atau lemah. Dalam kasus La Niña-IOD(-) *upwelling* intensitas kuat tidak dijumpai, hal ini terjadi karena kekuatan angin yang berhembus diduga tidak mampu membangkitkan *upwelling* intensitas kuat karena secara umum kecepatannya paling lemah diantara tiga kasus lain (**Gambar 4**). Pada bulan Agustus kecepatan angin memang lebih lebih tinggi daripada kasus El Niño-IOD(-), namun tetap tidak mampu

membangkitkan *upwelling* intensitas kuat, hal ini terjadi diduga kecepatan angin yang tinggi terjadi dalam periode yang singkat.



Gambar 4. Pada kasus La Niña-IOD(+) kecepatan angin mulai bulan Agustus menunjukkan kecepatan tertinggi, disusul El Niño-IOD (+), El Niño-IOD (-), dan kecepatan angin terlemah terjadi pada kasus La Niña-IOD(-).

Puncak dari kejadian *upwelling* dengan distribusi luasan maksimum umumnya terjadi pada bulan Agustus atau September. Luasan *upwelling* intensitas kuat khususnya pada saat kondisi maksimum, ditemukan bahwa *upwelling* terluas terjadi pada saat La Niña-IOD(+) sebesar 312.638,5 km², kemudian disusul pada kasus El Niño-IOD(+) sebesar 160.921,5 km², dan yang paling sempit pada kasus El Niño-IOD(-) sebesar 119.000,3 km (Tabel 1). Variabilitas luasan *upwelling* tersebut tampak berkaitan erat dengan kecepatan angin monsun yang terjadi (Gambar 4). Sedangkan variabilitas angin monsun dipengaruhi oleh ENSO dan IOD, hal ini tampak pada kasus La Niña-IOD(+). Secara teori pada kasus tersebut *upwelling* yang terjadi di selatan Jawa hingga Timor dilemahkan oleh fenomena La Niña, namun nilai DMI positif yang tinggi (Tabel 3) berpengaruh meningkatkan intensitas *upwelling* yang terjadi. Pada saat La Niña-IOD(+), tekanan udara rendah ada di Samudera Hindia bagian barat dan tekanan udara yang tinggi ada di Samudera Hindia Timur, hal ini mengakibatkan angin bertiup kuat dari Samudera Hindia bagian timur ke arah barat (Marsac and Le Blanc, 1998; Saji et al., 1999). Dengan semakin besarnya nilai indeks IOD positif maka angin akan semakin kuat berhembus ke arah barat. Angin merupakan penggerak utama dari proses *upwelling* (Susanto et al., 2001; 2006). Dalam kasus La Niña-IOD(+) tahun 2008 kecepatan angin mulai bulan Agustus hingga Oktober menunjukkan nilai tertinggi daripada tiga kasus yang lain (Gambar 4), maka sangat logis jika *upwelling* yang terjadi juga lebih luas distribusinya hingga mencapai 312.638,5 km², yang memanjang dari selatan Jawa Barat hingga Sumbawa (Gambar 3). Berdasarkan analisis statistik dari awal munculnya *upwelling* hingga mencapai puncaknya diperoleh hubungan yang sangat kuat antara luasan *upwelling* yang terjadi dengan nilai DMI dengan rerata koefisien korelasi 0,88, sedangkan hubungan antara luasan

upwelling yang terbentuk dengan SOI (indek ENSO) menunjukkan rerata koefisien korelasi yang positif sebesar 0,53. Hal ini menunjukkan bahwa luasan *upwelling* di selatan Jawa hingga Timor lebih dipengaruhi oleh nilai IOD daripada ENSO.

Tabel 3. Urutan nilai IOD dari yang terbesar dan luasan *upwelling* yang terbentuk pada saat puncak *upwelling* dari empat kasus kajian

No	Kasus Kajian	Nilai Indeks IOD	Rerata Luasan <i>Upwelling</i> (km ²)
1.	La Niña-IOD positif	1,297	312.638,5
2.	El Nino IOD positif	0,781	160.921,5
3.	El Niño-IOD negatif	-0,189	119.000,3
4.	La Niña-IOD negatif	-1,406	0

Kesimpulan

Awal munculnya *upwelling* intensitas kuat di perairan Selatan Jawa hingga Sumbawa umumnya terjadi bulan Juni dan berakhir pada bulan Oktober. Luasan *upwelling* intensitas kuat maksimum umumnya terjadi pada bulan Agustus atau September dan luasan minimum terjadi pada bulan Juni atau Oktober. Dalam kasus La Niña-IOD(-) sama sekali tidak dijumpai *upwelling* kuat selama musim timur, diduga karena kecepatan angin yang terbentuk tidak mampu membangkitkan *upwelling* kuat.

Variasi kasus ENSO dan IOD berpengaruh terhadap variabilitas luasan *upwelling* yang terjadi di perairan selatan Jawa hingga Timor, namun IOD positif tampak lebih berpengaruh terhadap variabilitas luasan *upwelling* yang terjadi. Semakin tinggi nilai DMI maka semakin luas *upwelling* yang terbentuk. Hubungan antara luasan *upwelling* hingga puncaknya dengan nilai DMI sangat erat, dengan rerata nilai koefisien korelasi sebesar 0,88. Nilai SOI (indeks ENSO) berpengaruh terhadap luasan *upwelling* di lokasi tersebut dengan pengaruh yang lebih kecil, hal ini tampak dari rerata nilai koefisien korelasi yang positif sebesar 0,53.

Ucapan Terima Kasih

Dengan kerendahan hati kami mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas segala bantuannya sehingga penelitian dan paper ini bisa terwujud, antara lain kepada: Ibu Ivonne M. Radjawane, M.Sc., Ph.D (Ketua Program Studi Doktor Sains Kebumian ITB), Ibadurrahman, S. Kel (asisten peneliti) dan berbagai pihak yang telah membantu pelaksanaan riset ini yang tidak memungkinkan untuk kami sebutkan satu-persatu.

Daftar Pustaka

- Kunarso. 2005. Kajian Penentuan Lokasi-lokasi *Upwelling* di Perairan Indonesia dan Sekitarnya Serta Kaitannya dengan *Fishing Ground* Tuna. (Tesis) Program Studi Magister Oseanografi, Sains Atmosfir, dan Seismologi, FIKTM, ITB, Bandung.
- Kunarso, S. Hadi, dan N.S. Ningsih. 2005. Kajian Lokasi *Upwelling* Untuk Penentuan Fishing Ground Potensial Ikan Tuna. *Jurnal Ilmiah Ilmu Kelautan*, **Volume 10, No 2**, hal 61 – 67.
- Kunarso, A. Supangat, dan Wiweka. 2007. Studi Keunggulan Aplikasi Teknologi Peramalan *Fishing Ground* dengan Data *Upwelling* dan *Real Time Satellite* untuk Berburu Ikan Tuna pada Variasi Iklim Global. Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kunarso, A. Supangat, dan Wiweka. 2008. Studi Keunggulan Aplikasi Teknologi Peramalan *Fishing Ground* dengan Data *Upwelling* dan *Real Time Satellite* untuk Berburu Ikan Tuna pada Variasi Iklim Global. Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Lembaga Penelitian Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kunarso, S. Hadi, N.S. Ningsih, dan A. Supangat. 2009. *Upwelling* dan Fishing Ground Tuna di Laut Nusantara. Buku Referensi Hasil Penelitian. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang. 199 hal.
- Kunarso. 2011. Kajian Pengaruh Kejadian ENSO, IOD dan Monsun Terhadap Waktu dan Lokasi Panen Tuna di Wilayah Pengelolaan Perikanan Samudera Hindia IXC dan IXD. Laporan Kemajuan Disertasi 1. Program Doktor Sains Kebumian, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Marsac, F., and J.L. Le Blanc. 1998. Dynamics of ENSO Events in the Indian Ocean: To What Extent Would Recruitment and Catchability of Tropical Tunas be Affected?. IOTC Proceeding. No 1, 9-14 Nopember, Victoria.

- Mathews, C.P., A. Ghofar, Gede, S., N. Hendiati, D. Arief, and H. Lestiana. 2001. Effects of Frontal systems, *Upwelling*, and El-Niño on the Small Pelagic Fisheries of the Lesser Sunda Island, Indonesia. ed. T. Nishida; P.J.Kailola and C.E. Hollingworth, Fishery GIS Research Group Saitama, Japan.
- Ningsih, N.S., Hadi, S., dan Yusuf, M. 2002. *Upwelling* in the Southern Coast of Java and Its Relation to Seasonal Ocean Circulation by Using a Three-Dimensional Ocean Model. Proceeding Pan Ocean Remote Sensing Conference 2: 669-672
- Nontji. 1987. Laut Nusantara. PT. Djambatan, Jakarta
- Purba, M. 1995. *Upwelling* in the Water South of West Java and Its Application for Fisheries. Paper presented at International Workshop on The Throughflow Studies in and around Indonesia Water, 10th-12th October 1995, Jakarta, Indonesia, p 37-47.
- Rakhmaputri, N. 2010. Kajian Variabilitas *Upwelling* di Perairan Selatan Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Laut Sawu dengan Menggunakan Penginderaan Jauh. Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Saji, N.H, B.N. Goswami, P.N. Vinayachandran, and T.Yamagata, 1999, A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean, *J. Nature*, **401**, 360-363.
- Stewart, R.H. 2002. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography, Texas A & M University, 341 p.
- Supangat, A, N.S. Ningsih, P.A. Winarso, M., Yusuf, dan D.N. Handiani . 2004. Model Sebaran Suhu Permukaan Laut untuk Mempelajari Pergerakan “Kolam Air Hangat” (Sebagai Tambang Tuna) di Perairan Indonesia, dan Korelasinya dengan Variabilitas Iklim. Laporan Akhir Tahun III RUT IX, Bidang Kelautan, Kebumihan dan Kedirgantaraan, LPPM-ITB, Kemenristek dan LIPI.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, and Q. Zheng. 2001. *Upwelling* Along the Coast of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO. *J. Geophysical Research Letters*, American Geophysical Union. USA, **Vol. 28, No. 8**, p. 1599-1602.
- Susanto, R.D., Moore, T.S. and J. Marra. 2006. Ocean Color Variability in Indonesian Seas during the SeaWIFS Era. *Journal Geachemistry Geophysics Geosystem*, **7**: 1525 – 2027.
- Thurman, H.V. 1991. Introductory Oceanography. Sixth Edition, Macmillan Publishing Company, New York.

Wyrтки, K.A. 1961. Naga Report Volume 2: Physical Oceanography of the Southeast

<http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml>, (diakses tanggal 1 Februari 2011)

http://www.jamstec.go.jp/frcgs/research/d1/iod/DATA/dmi_HadISST.txt, (diakses tanggal 1 Maret 2011)

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>, (diakses tanggal 1 Maret 2011)

<http://www.oceancolor.gfsc.nasa.gov>, (diakses mulai tanggal 1 Januari 2011)

Variabilitas Transpor Arus Lintas Indonesia Total: 1948-2011

Total Transport Variability of Indonesian Throughflow: 1948-2011

ADANG PRIANTO¹, NINING SARI NINGSIH¹, IBNU SOFIAN², DAN FARRAH HANIFAH¹

¹Program Studi Oseanografi, FITB, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132

²Badan Informasi Geospasial (BIG), Jl. Raya Jakarta Bogor Km. 46 Cibinong 16911

ABSTRAK

Trend dan variabilitas transpor Arlindo (Arus Lintas Indonesia) total selama 64 tahun (Januari 1948-Oktober 2011) telah dikaji. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil model hidrodinamika baroklinik HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) pada domain global (20°BT-60°BB dan 60°LU-60°LS) dengan resolusi grid 1° dan 23 layer. Hasil analisis menunjukkan keterkaitan antara transpor Arlindo total dengan PDO (Pacific Decadal Oscillation). Berdasarkan analisis power spectrum, sinyal paling dominan pada transpor Arlindo total adalah periode 1 tahunan. Variabilitas Arlindo total memiliki transpor rata-rata sebesar -14,2±4,9 Sv dengan trend pelemahan 0,156Sv per tahun.

Kata kunci: Arus Lintas Indonesia (Arlindo), El-Niño-Southern Oscillation (ENSO), dan Pacific Decadal Oscillation (PDO).

ABSTRACT

Trend and variability of the Indonesian Throughflow (ITF) total transport for the time period of 64 years (January 1948-October 2011) has been investigated. This research used volume transport data, which was derived from HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) baroclinic hydrodynamics model. Model domain covered global area of about 20°E-60°W and 60°N-60°S. The model used 1° grid resolution in horizontal direction and 23 water layers in depth. Analysis result shows the correlation between total ITF transport with PDO (Pacific Decadal Oscillation). Based on power spectrum analysis it was found that the most dominant signal of total ITF has period of 1 year. Mean value for ITF total transport is -14.2±4.9 Sv with decreasing trend of 0.156 Sv per year.

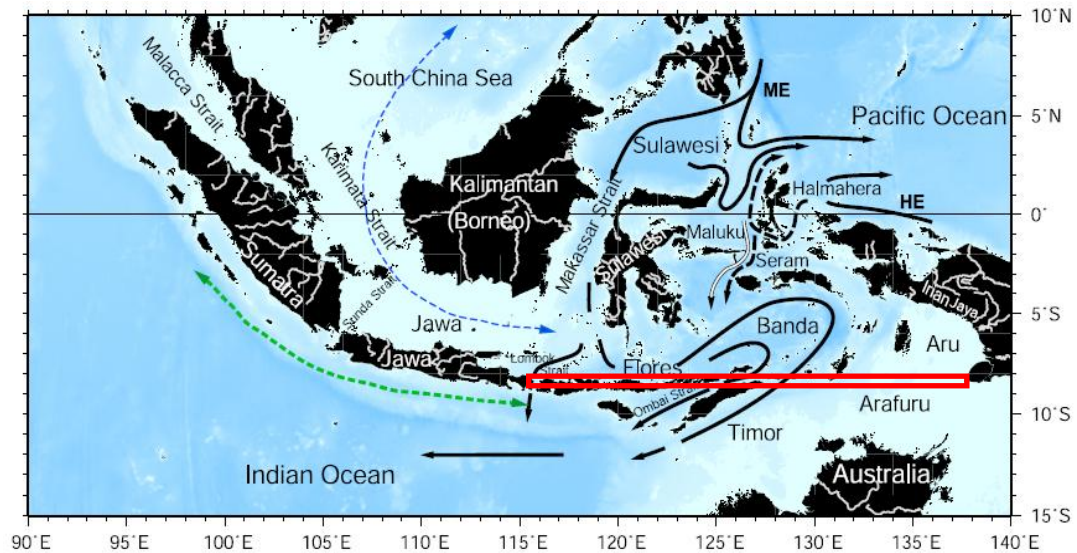
Keywords: Indonesian Throughflow (ITF), El-Niño-Southern Oscillation (ENSO), and Pacific Decadal Oscillation (PDO).

*Corresponding author: Adang Prianto (e-mail: adangprianto@gmail.com)

Pendahuluan

Perairan Indonesia terletak di antara dua samudra, yaitu Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Perairan ini berada pada lintasan utama sirkulasi laut dunia (*termohaline*) dan menjadi salah satu titik penting pada skala global. Posisi tersebut menghasilkan suatu aliran massa air dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia melalui Perairan Indonesia yang disebut Arus Lintas Indonesia (Arlindo) (Masumoto dan Yamagata, 1996).

Arlindo memberikan dampak yang sangat besar terhadap konten panas dan pola temperatur permukaan laut yang sangat erat kaitannya dengan peristiwa antar tahunan ENSO (*El-Niño–Southern Oscillation*) dan monsun Asia. ENSO dan monsun Asia memperlihatkan keterkaitan Arlindo dengan sistem iklim regional dan global yang merupakan inti untuk dapat memprediksi iklim (Gordon, 2010).



Gambar 1. Lokasi Perhitungan Transpor ArlindoTotal (Kotak Merah).(Diadaptasi dari Sumber: Susanto *et. al*, 2006).

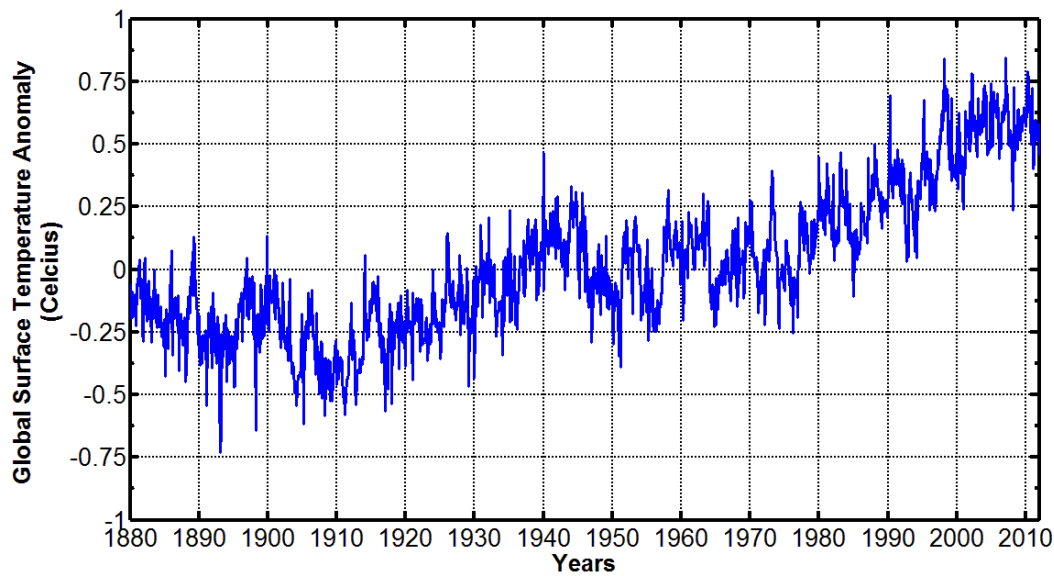
Variabilitas Arlindo dalam jangka panjang dengan menggunakan model hidrodinamika pernah dilakukan oleh Mayer dan Damm (2012). Menurut hasil model sirkulasi global dengan resolusi horizontal 24' dan resolusi grid vertikal 40 lapisan ke kedalaman tersebut, transpor volume Arlindo di Selat Makassar mengalami peningkatan dalam kurun waktu 37 tahun dari tahun 1970-2006.Selain Mayer dan Damm (2012), variabilitas Arlindo dalam jangka pendekjuga pernah dipelajari oleh Masumoto dan Yamagata (1996), Song dan Gordon (2004), Sudjono (2004), McCreary *et. al* (2007), dan

Metzger *et. al* (2010). Perbedaan penelitian di atas dengan penelitian ini adalah peneliti-peneliti tersebut belum menghubungkan dinamika jangka panjang transpor Arlindo di Perairan Indonesia dengan perubahan iklim dimana iklim merupakan rata-rata cuaca selama 30 tahun. Transpor Arlindo total dalam penelitian ini adalah hasil penjumlahan transpor sepanjang perairan Kepulauan Nusa Tenggara hingga Laut Arafuru. Lokasi ini dipilih sebagai obyek penelitian karena merupakan *outflow* Arlindo. Dengan demikian, jika terjadi suatu perubahan iklim yang cukup signifikan dalam kurun waktu yang panjang, maka dapat dimungkinkan pula adanya dampak perubahan iklim pada transpor Arlindo di lokasi tersebut.

Dari pemaparan di atas, maka penulis memiliki ketertarikan untuk mengkaji variabilitas dan *trend* jangka panjang transpor volume Arlindo total. Daerah kajian adalah Perairan Kepulauan Nusa Tenggara hingga Laut Arafuru seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Variabilitas transpor Arlindo dianalisis dengan menggunakan hasil perhitungan model global HYCOM dengan resolusi horizontal 1° dan grid vertikal 23 lapisan ke kedalaman. Model dijalankan dalam rentang waktu 64 tahun dari tahun 1948 hingga tahun 2011. Variabilitas transpor Arlindo dikorelasikan dengan variasi antardasawarsayaitu *Pacific Decadal Oscillation* (PDO). Korelasi variabilitas transpor Arlindo dan variasi *interdecadal* tersebut dikaji menggunakan analisis statistik dan *power spectrum*. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah transpor Arlindo tidak memasukkan fenomena pasang surut karena model HYCOM belum cukup matang untuk memasukkan unsur intraseasonal tersebut (Metzger *et. al*, 2010).

Studi Pustaka

Berdasarkan *Third Assessment Report (TAR) Intergovernment Panel of Climate Change (IPCC)*, temperatur udara rata-rata permukaan bumi akan meningkat sebesar $0,6 \pm 0,2^{\circ}$ C pada abad ke-20. Kondisi ini merupakan kejadian yang terburuk dalam 1000 tahun terakhir (IPCC, 2001a di dalam Kurniawan *et. al*, 2009). Keadaan tersebut terlihat dari sinyal anomali temperatur permukaan bumi yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sinyal tersebut menunjukkan adanya *trend* peningkatan temperatur secara linear sebesar $0,006^{\circ}$ C per tahun. Walaupun demikian, dari sisi ilmiah perlu adanya suatu penelitian lebih lanjut untuk membuktikan dampak peningkatan temperatur global yang sangat erat kaitannya dengan perubahan iklim global ini pada sistem alam di bumi.



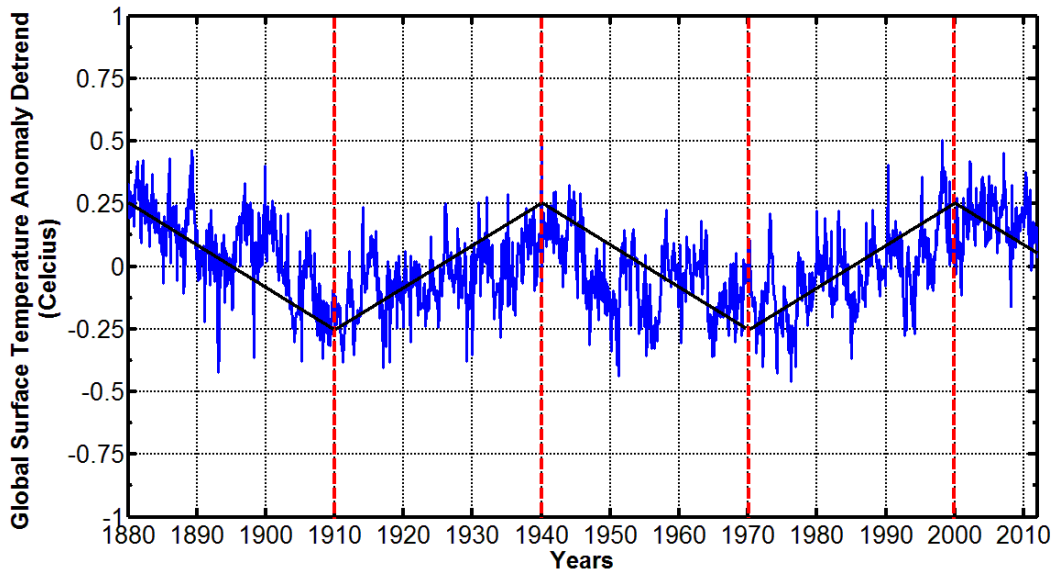
Gambar 2. Sinyal Anomali Temperatur Permukaan Global Bulanan Pada Tahun 1880-2011. (Sumber Data: www.ncdc.noaa.gov)

Pertanyaan-pertanyaan yang sering terlontar tentang isu pemanasan global yaitu apakah *trend* ini memang benar hanya terjadi secara linear, apakah data anomali temperatur tersebut valid, dan apakah anomali temperatur tersebut akan terus meningkat. Pertanyaan lain yang cukup fenomenal yaitu jika bumi mengalami pemanasan global, apakah bumi juga akan mengalami pendinginan global. Menurut penulis, pertanyaan terakhir ini cukup beralasan karena semua sinyal alam yang terlihat acak di bumi memiliki keteraturan dan periodisasi jika dikaji secara ilmiah.

Perdebatan-perdebatan tentang fenomena pemanasan global di atas masih terus berlanjut hingga sekarang. Oleh karena itu, penelitian-penelitian tentang dampak pemanasan global harus terus ditingkatkan. Dalam hal ini, penulis memiliki suatu ketertarikan untuk mengkaji apakah terjadi suatu perubahan yang cukup signifikan pada konteks Oseanografi yaitu arus laut. Untuk mengkaji perubahan iklim, tentu saja kajian periode yang akan penulis fokuskan yaitu dalam kurun waktu multidekade.

Penelitian ini memfokuskan pada kajian dalam periode multidekade dan *interannual* sehingga *trend* jangka panjang akan dihilangkan (*detrend*). Setelah *trend* tersebut dihilangkan, maka sinyal yang akan terbentuk yaitu adanya suatu keteraturan dalam kurun waktu 30 tahunan. Osilasi multidekade tersebut terlihat pada Gambar 3. Kecenderungan peningkatan anomali temperatur global terjadi pada tahun 1910-1940 dan

1970-2000. Sedangkan kecenderungan penurunan anomali temperatur terjadi pada tahun 1880-1910, 1940-1970, dan kemungkinan terjadi pada tahun 2000-2030.



Gambar 3. *Detrend* Sinyal Anomali Temperatur Permukaan Global Bulanan Pada Tahun 1880-2011.

Metode yang digunakan untuk analisis spektral adalah periodogram. Periodogram menghitung densitas *power spectral* P_{xx} dari suatu data *time series* $x(t)$ yang berfungsi untuk mengetahui siklus pada suatu data *time series* dalam satuan frekuensi atau periode. Metode ini ditemukan oleh Arthur Schuster pada tahun 1898 untuk mengkaji iklim dan menghitung *power spectrum* dengan menggunakan *Fourier transform* secara langsung pada rangkaian data tanpa menghitung terlebih dahulu autokorelasi rangkaian data tersebut. Pada tahun 1965, *power spectrum* juga ternyata dapat dihitung dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) oleh Cooley dan Tukey sehingga proses perhitungan periodogram menjadi jauh lebih cepat (Trauth, 2010). Fungsi matematis FFT adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x(t) &= \sum_{i=1}^n x(i) \omega_n^{(i-1)(t-1)} \\ x(i) &= \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{t=1}^n x(t) \omega_n^{-(i-1)(t-1)} \end{aligned} \quad (1)$$

dimana $\omega_n = e^{(-2\pi i)/n}$.

Metode lain yang kita gunakan dalam makalah ini untuk melihat *power spectrum* dari data acak adalah *S-Transform*. *S-Transform* atau *The Stockwell Transform* adalah *window variable* dari suatu *Short Time Series Transform* (STFT) atau kelanjutan dari

Wavelet Transform (WT). Metode analisis ini berdasarkan pada lokalisasi *Gaussian Window* yang diskalakan (Wang, 2010).

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)g(\tau - t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

dimana τ dan f adalah waktu dari lokalisasi spektral dan frekuensi Fourier sedangkan $g(t)$ adalah *window function* dimana $g(t) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2 f^2}{2}}$.

Materi dan Metode

Model yang digunakan adalah model global baroklinik HYCOM dengan resolusi grid 1° dan 23 *layer*. Domain model yang digunakan adalah 20° BT - 60° BB dan 60° LU - 60° LS. Model ini membutuhkan *computer time running* selama 2,5 bulan untuk melakukan perhitungan transpor Arlindo dalam jangka waktu 64 tahun dari Januari 1948 hingga Oktober 2011. Data tersebut berupa data kecepatan aliran pada lapisan isopiknal di daerah yang terstratifikasi secara signifikan. Metode ini mampu menambah resolusi vertikal lapisan dekat permukaan dan area perairan dangkal sehingga dapat memberikan representasi yang baik secara fisis pada lapisan permukaan laut. Data lain yang digunakan untuk menghitung aliran transpor aliran yaitu data batimetri. Data batimetri dipakai untuk mengetahui luas penampang yang dilalui oleh aliran.

Data-data tersebut digunakan untuk menghitung besar transpor aliran. Adapun rumusan perhitungannya yaitu

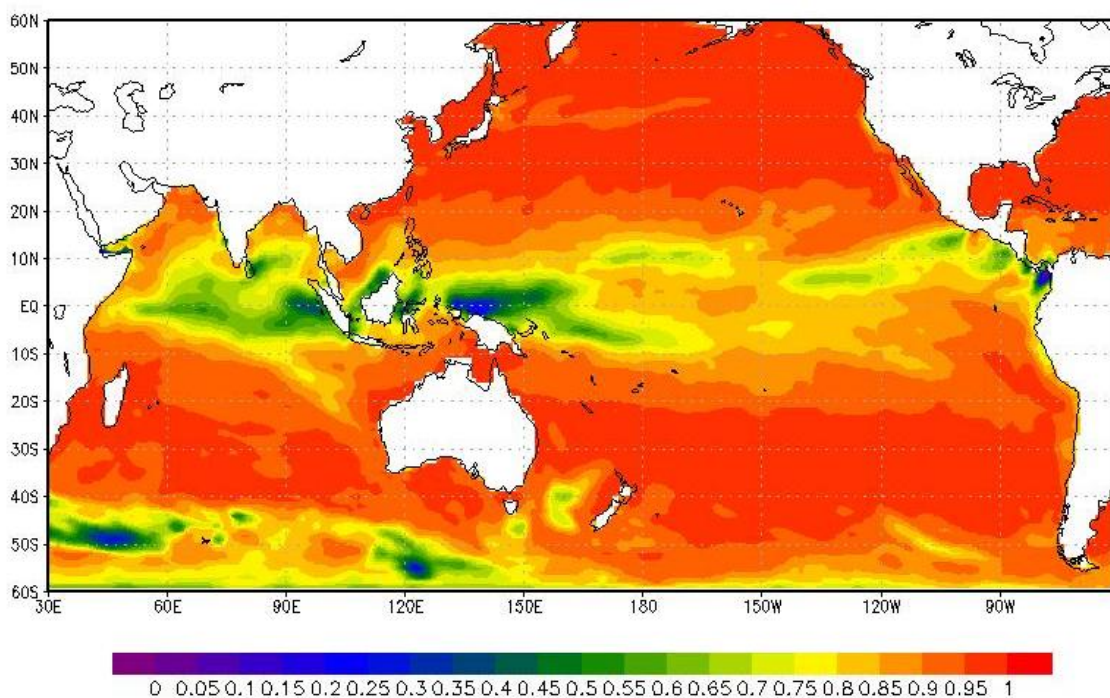
$$\bar{Q}(t) = A(x, z)\bar{V}(x, y, z, t) \quad (3)$$

dimana $\bar{Q}(t)$ adalah nilai transpor aliran sepanjang waktu, $A(x, z)$ adalah luas penampang vertikal yang dilalui aliran, dan $\bar{V}(x, y, z, t)$ adalah vektor kecepatan 3D sepanjang waktu.

Salah satu hal sulit yang sering terjadi pada metode statistika adalah variabilitas. Variabilitas sering dijumpai dalam kajian data ilmiah. Untuk mengkaji variabilitas secara ilmiah maka dibutuhkan suatu pemikiran yang sistematis. Para ilmuwan seringkali berhubungan dengan banyak data ilmiah. Data tersebut diperlukan untuk lebih memahami fenomena alam (Walpole *et. al*, 2007). Statistika deskriptif dasar yang dipakai dalam analisis penelitian ini adalah rata-rata (*mean*), standard deviasi, dan histogram.

Hasil, Pembahasan, dan Diskusi

Sesuai dengan tujuan penelitian ini, maka penulis akan mengkaji dampak pemanasan global pada salah satu obyek Oseanografi di Indonesia yang berperan secara global yaitu Arlindototal. Agar dampak pemanasan global terlihat, maka penulis menggunakan data transpor Arlindo selama 60an tahun. Hal tersebut didasarkan pada kurun waktu tersebut telah terjadi dua fenomena yaitu penurunan dan peningkatan anomali temperatur.



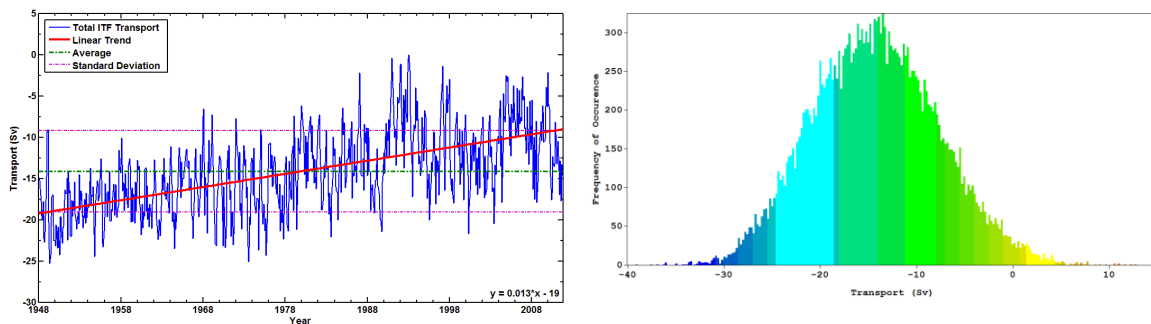
GRADS: COOLA/IGES

2012-05-23-16:53

Gambar 4. Grafik Verifikasi Hasil Model SST Global HYCOM 1° dan Data SST Satelit. (Indeks Warna Menunjukkan Nilai Korelasi Antara Dua Data).

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil model Ningsih *et. al* (2012). Data ini berasal dari model hidrodinamika global HYCOM dengan resolusi 1° dan 23 lapisan vertikal. Verifikasi hasil model tersebut dilakukan dengan menggunakan metode asimilasi dengan data SST satelit. Hasil verifikasi menunjukkan hasil yang cukup baik jika dilihat dari nilai korelasi antara hasil model SST global HYCOM 1° dengan data SST satelit. Perbandingan sinyal transpor tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. Secara umum, korelasi antara dua data tersebut bernilai sekitar 0,8-0,95. Jika kita melihat daerah

sepanjang ekuator, maka nilai korelasi cenderung lebih rendah daripada nilai korelasi di lintang pertengahan. Kemungkinan yang terjadi dari hal ini adalah karena dinamika laut di sepanjang ekuator lebih tinggi daripada dinamika laut di lintang tengah. Korelasi yang rendah terjadi pula di sekitar Laut Antartika di sebelah utara kutub selatan. Dari pemaparan diatas, maka semakin besar nilai korelasi antara dua data tersebut, maka makin terpercaya pula hasil modelnya. Begitu pula sebaliknya, semakin rendah nilai korelasi, semakin tidak terpercaya hasil model tersebut. Untuk hasil model pada Arlindo total, maka dapat kita katakan bahwa tingkat kepercayaan hasil model berdasarkan nilai korelasi yaitu sekitar 80%.

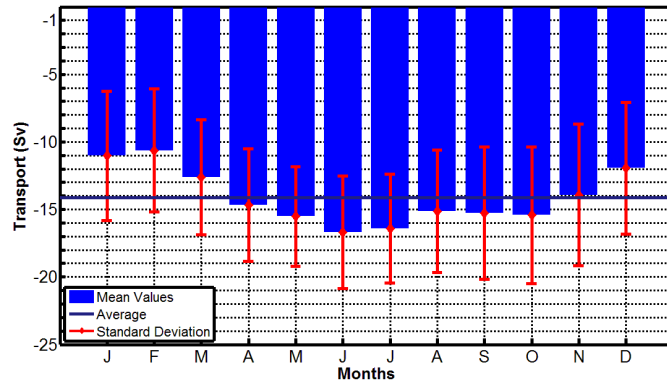


Gambar 5. Grafik Analisis Statistik Transpor Arlindo total Selama 64 Tahun.

Analisis statistika yang digunakan untuk mengkaji kekuatan transpor Arlindo total seperti nilai rata-rata, standard deviasi, dan *trend* linear transpor ditunjukkan pada Gambar 5. Transpor rata-rata Arlindo total yaitu $-14,2 \pm 4,9$ Sv dengan kecenderungan pelemahan *trend* aliran sebesar 0,013 Sv per bulan (0,156 Sv per tahun). Gambar 5 juga menunjukkan kekerapan atau distribusi frekuensi dari variabilitas transpor Arlindo total dalam bentuk histogram. Dari histogram tersebut dapat kita katakan bahwa variabilitas transpor Arlindo total relatif stabil karena bentuk histogram cenderung *well-defined peak* (runcing). Semakin runcing histogram maka menunjukkan nilai median dan mean dekat.

Variabilitas bulanan transpor Arlindo total dalam 1 tahun ditunjukkan pada Gambar 6. Transpor Arlindo pada pertengahan tahun cenderung menjadi lebih kuat daripada akhir tahun hingga awal tahun. Perbedaan rata-rata bulanan ini akibat pengaruh dari sistem angin di ekuator Indonesia. Fenomena ini dapat dijelaskan dari pengaruh arus di perairan dalam Perairan Indonesia (Gambar 7). Pada bulan Januari (monsun barat) transpor Arlindo

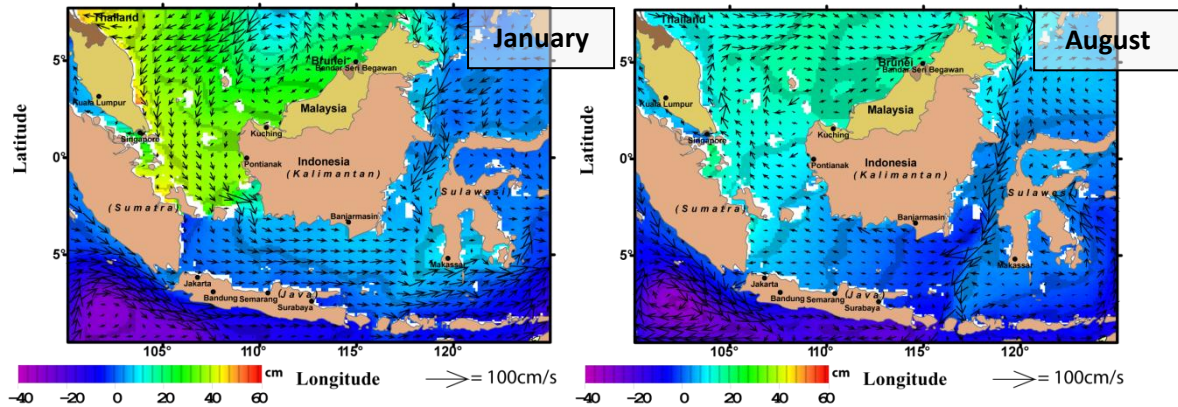
dilemahkan oleh arus Laut Jawa yang bergerak ke timur. Begitu juga sebaliknya, ketika bulan Agustus (monsun barat) transpor Arlindo diperkuat oleh arus Laut Jawa yang bergerak lemah ke barat. Dengan kata lain bahwa variabilitas Arlindo yang menuju Samudra Hindia sangat dipengaruhi oleh angin monsun.



Gambar 6. Rata-rata Bulanan Transpor Arlindo Total serta Standard Deviasi.

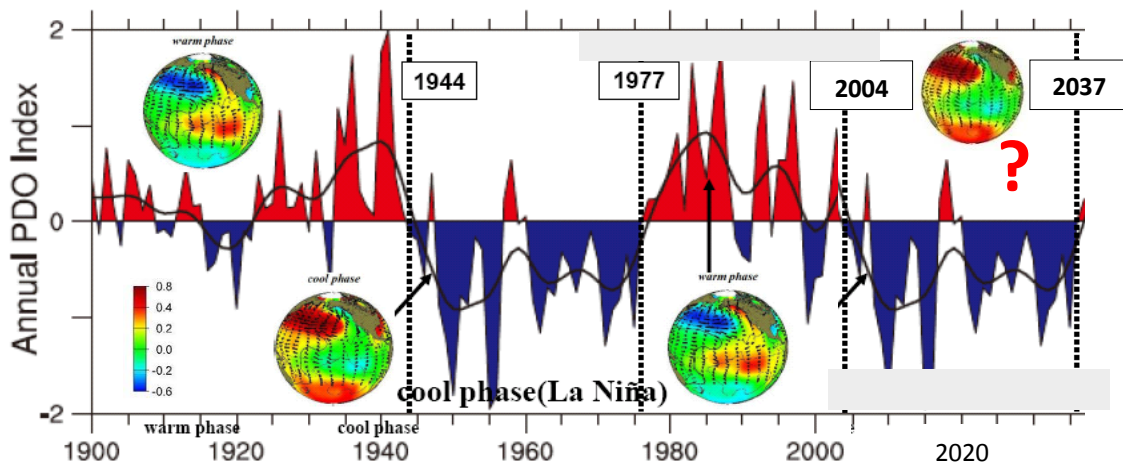
Parameter yang berkorelasi dengan variabilitas Arlindo dalam skala global adalah *Pacific Decadal Oscillation* (PDO). PDO telah dikenal sebagai pola El-Niño dari variabilitas iklim Samudra Pasifik. Selain itu, PDO juga dikenal sebagai gabungan dari dua mode yang independen antara karakteristik temporal dan spasial dari variabilitas *sea surface temperature* (SST) Samudra Pasifik. Perubahan antardasawarsa pada iklim Pasifik tersebut telah mempengaruhi sistem alami iklim global. Nilai positif (negatif) indeks PDO mengindikasikan nilai SST bulanan di atas (di bawah) normal sepanjang pantai barat dari Amerika Utara dan Tengah di ekuator dan nilai SST bulanan di bawah (di atas) normal di bagian barat dan tengah Samudra Pasifik Utara di sekitar lintang Jepang (Gambar 8).

Fluktuasi pada pola indeks PDO tersebut didominasi oleh variabilitas dengan skala waktu dasawarsa (*decadal*). Pada abad ke-20 ini, fluktuasi PDO paling sering terjadi pada periode 15-25 tahunan dan yang lainnya terjadi pada periode 50-70 tahunan. Mekanisme penyebab variabilitas PDO hingga saat ini masih belum jelas. Baru sedikit penelitian untuk mencari bukti yang dapat mendukung teori interaksi laut-udara PDO di daerah *mid-latitude*, walaupun telah ada beberapa mekanisme yang diketahui untuk menjelaskan mekanisme anomali temperatur laut permukaan di Pasifik Utara tersebut (Mantua dan Hare, 2002).



Gambar 7. Distribusi tinggi muka air laut dan pola arus pada bulan Januari dan Agustus. Tinggi muka air laut dan pola arus adalah rata-rata bulanan selama 7 tahun, dari tahun 1993 sampai 1999. (Sumber: Sofian, 2009).

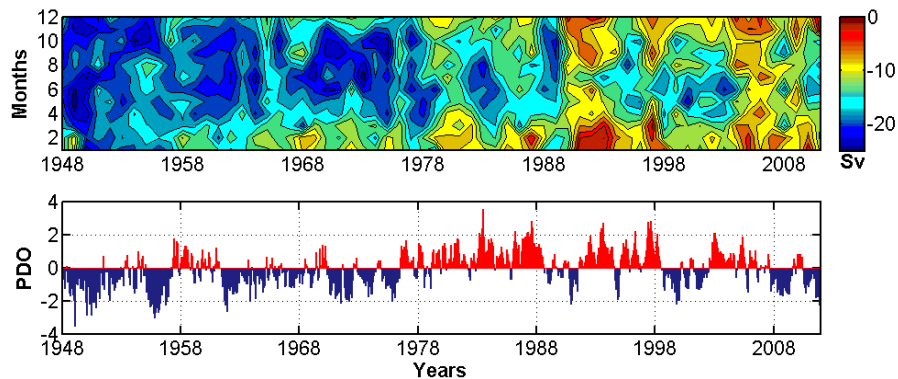
Untuk mengetahui pengaruh PDO terhadap transpor Arlindo total, diperlukan grafik perbandingan diantara keduanya. Oleh karena itu, Gambar 9 dijadikan media perbandingan secara kuantitatif transpor berdasarkan kejadian PDO (periode 60 tahun) dengan grafik kontur transpor Arlindo total selama 64 tahun. Jika kita bandingkan grafik kontur transpor Arlindo total antara 30 tahun pertama dengan dominasi fase dingin (La-Niña) pada grafik PDO (1948-1978) dan 30 tahun kedua (1978-2008) dengan grafik PDO yang didominasi oleh fase panas (El-Niño) maka dapat kita identifikasi adanya suatu perubahan besaran transpor pada bulan-bulan pertengahan di Perairan Nusa Tenggara hingga Laut Arafuru.



Gambar 8. *Pacific Decadal Oscillation* (PDO). (Diadaptasi dari Sumber: IPCC, AR4, WG1 di dalam Yamashita (2012).

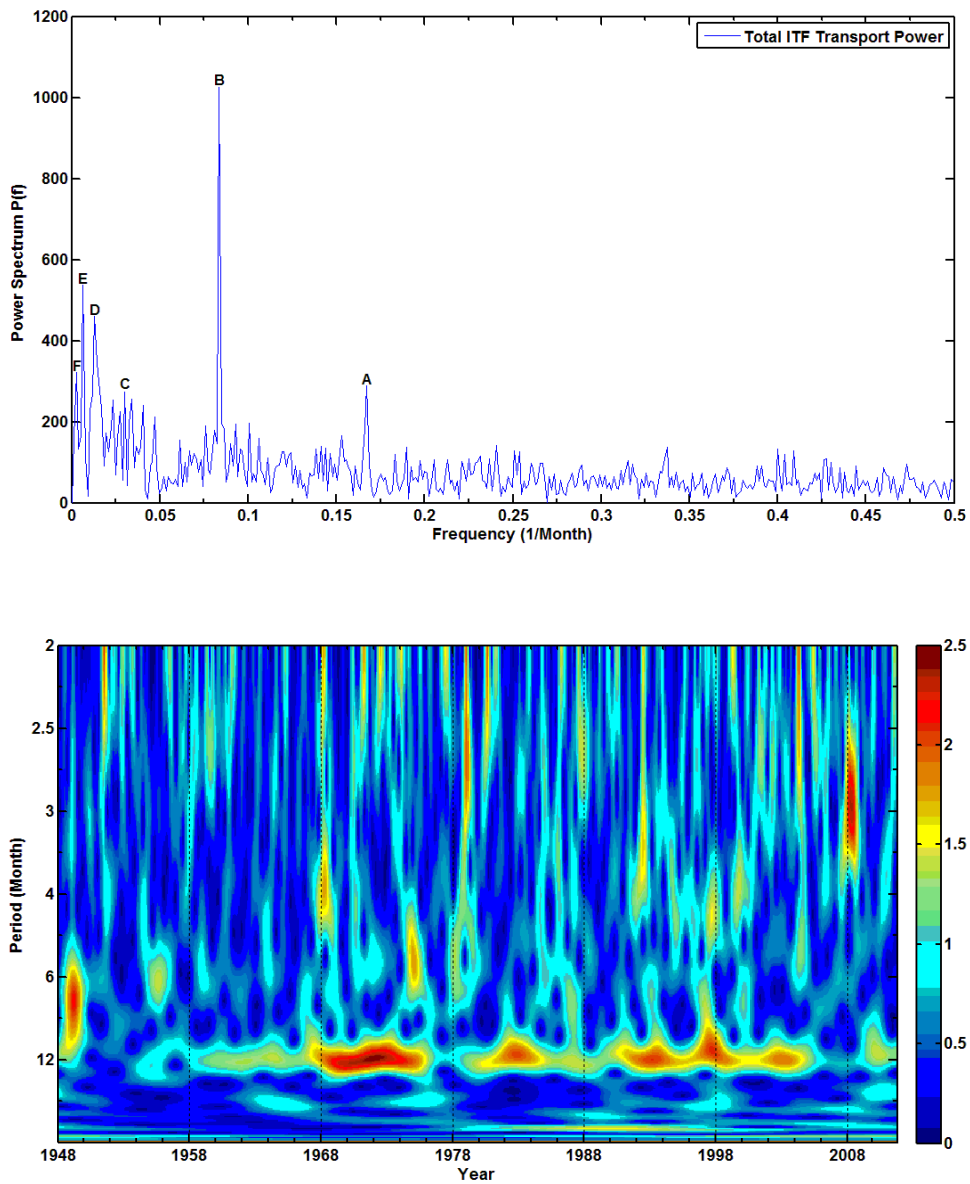
Pada bulan pertengahan tahun di 30 tahun pertama transpor Arlindo total terlihat bahwa kontur menunjukkan transpor yang kuat sedangkan pada bulan awal hingga akhir tahun di 30 tahun yang kedua terlihat bahwa kontur menunjukkan transpor yang makin lemah. Dari pernyataan tersebut dapat kita katakan bahwa ada kemungkinan siklus PDO dengan periode 60 tahun mempengaruhi variabilitas transpor Arlindo total. Jika berdasarkan hipotesis Yamashita (2012) yang ditunjukkan pada Gambar 8 di atas benar, maka ketika PDO memasuki fase dingin kembali pada kurun waktu 2008-2038. Adapun kemungkinan yang akan terjadi yaitu transpor Arlindo total akan kembali mengalami penguatan transpor pada bulan-bulan di pertengahan tahun seperti yang terjadi pada tahun 1948-1977.

Salah satu metode untuk melihat frekuensi yang paling dominan pada suatu sinyal acak adalah grafik *power spectrum* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Transpor Arlindo total memiliki sinyal paling dominan periode 1 tahunan (*annual*). Selain itu, pada transpor Arlindo total juga terdeteksi sinyal dengan frekuensi 32 tahun. Sinyal-sinyal lain yang cukup menonjol di lokasi ini adalah sinyal 6 tahun (ENSO) dan 0,5 tahun.



Gambar 9. Perbandingan Transpor Arlindo total dan Indeks PDO. (Sumber DataPDO: www.jisao.washington.edu).

Grafik *S-Transform* bertujuan untuk mengetahui periode paling dominan dari suatu parameter sinyal acak. Seperti yang diketahui bahwa *S-Transform* merupakan hasil pengembangan lebih lanjut dari *Fast Fourier Transform* (FFT). Periode paling dominan diwakili oleh skala warna. *Power spectrum* transpor Arlindo total juga menunjukkan periode paling maksimum di lokasi ini terjadi pada skala 12 bulanan atau 1 tahunan. Hal ini sesuai dengan hasil FFT yang menunjukkan energi paling besar di area ini adalah periode 1 tahunan.



Gambar 10. *Power SpectrumFast Fourier Transform (FFT) Transpor Arlindo Total.* Dimana A=Periode 0,5 Tahun; B=Periode 1 Tahun; C=Periode 3 Tahun; D=Periode 6 Tahun; E=Periode 13 Tahun; dan F=Periode 32 Tahun (Kiri). *Power SpectrumS-Transform Transpor Arlindo Total (Kanan).*

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah transpor rata-rata Arlindo total adalah $-14,2 \pm 4,9$ Sv ke arah selatan dengan kecenderungan menguat sebesar $0,156$ Sv per tahun. Perubahan ini merupakan bukti bahwa transpor Arlindo total menerima dampak pemanasan global. Walaupun demikian, transpor Arlindo total masih sangat dipengaruhi oleh angin monsun yaitu pada musim barat (bulan Desember-Februari) transpor Arlindo melemah sedangkan pada musim timur (bulan Juni-Agustus) transpor Arlindo menguat. Sedangkan sinyal paling dominan pada transpor Arlindo total adalah sinyal frekuensi 1 tahunan.

Untuk studi selanjutnya, sebaiknya model yang digunakan memiliki resolusi yang jauh lebih tinggi daripada yang digunakan dalam penelitian ini karena batimetri Perairan Indonesia yang sangat kompleks sehingga hasil yang diperoleh diharapkan akan lebih presisi lagi. Selain model, sebaiknya data-data yang mendukung tentang adanya dampak perubahan iklim terhadap Arlindo juga semakin diperbanyak seperti jurnal ilmiah, data observasi, data satelit, dan lainnya.

Daftar Pustaka

- Gordon, A. L., 2010, *Measuring the Makassar Strait Throughflow, the Primary Component of the Indonesian Throughflow*, Observing the Oceans for Science and Society - Climate, New York.
- Kurniawan, E., Herizal, dan Setiawan, B., 2009, *Proyeksi Perubahan Iklim Berdasarkan Skenario IPCC SRES Dengan Menggunakan Model AOGCM CCSR/NIES*, Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Vol. 5 No. 2.
- Mantua N. J. dan S. R. Hare, 2002, *The Pacific Decadal Oscillation*, Journal of Oceanography, Vol. 58, pp. 35-44.
- Masumoto, Y. dan T. Yamagata, 1996, *Seasonal variations of the Indonesian throughflow in a general Ocean Circulation Model*, Journal Of Geophysical Research, 101(C5):12287-12293.
- Mayer, B. dan P. E. Damm, 2012, *The Makassar Strait Throughflow and Its Jet*, Journal of Geophysical Research.

- McCreary, J. P., R. Furue, T. Jensen, H. W. Kang, B. Bang, T. Qu, dan T. Miyama, 2007, *Interactions between the Indonesian Throughflow and circulations in the Indian and Pacific Oceans*, International Pacific Research Center, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Metzger, E. J., H. E. Hurlburta, X. Xu, J. F. Shriver, A. L. Gordon, J. Sprintall, R. D. Susanto, dan H. M. van Aken, 2010, *Simulated and Observed Circulation in the Indonesian Seas: 1/12⁰ Global HYCOM and the INSTANT Observations*, Dynamics of Atmospheres and Oceans, 50 : 275–300.
- Ningsih, N.S., S. Hadi, I. Sofian, Kunarso, dan F. Hanifah. *Kajian Dampak Perubahan Iklim Terhadap Dinamika Upwelling Sebagai Dasar untuk Memperkirakan Pola Migrasi Ikan Tuna di Perairan Selatan Jawa – Nusa Tenggara Barat dengan Menggunakan Model Transpor Temperatur Laut*. Laporan Riset dan Inovasi KK, Institut Teknologi Bandung, 2012.
- Sofian, I, 2009, *Proyeksi Sea Level Rise dan Iklim Ekstrem*, Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal), Bogor.
- Song, Q. dan A. L. Gordon, 2004, *Significance of the Vertical Profile of the Indonesian Throughflow Transport to the Indian Ocean*, Geophysical Research Letters, Vol. 31, L16307, doi:10.1029/2004GL020360.
- Sudjono, E.H., 2004, *Studi Variabilitas Arus Lintas Indonesia (Arlindo) di Indonesia Bagian Timur*, Thesis Magister, Program Studi Oseanografi dan Sains Atmosfer, ITB.
- Susanto, R. D., T. S. Moore II, dan J. Marra, 2006, *Ocean Color Variability in the Indonesian Seas during the SeaWiFS Era*, Geochemistry Geophysics Geosystems, 7, Q05021, doi:10.1029/2005GC001009.
- Trauth, M. H., 2010, *MATLAB Recipes for Earth Sciences: Third Edition*, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, e-ISBN 978-3-642-12762-5.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., dan Ye, K., 2007, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists: Eight Edition*, Pearson Education International, ISBN 0-13-204767-5.
- Wang, Y. H., 2010, *The Tutorial: S-Transform*, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.
- Yamashita, 2012, *Pacific Decadal Oscillation (PDO)*, Kyoto University, Kyoto.
- www.jisao.washington.edu di akses tanggal 14 April 2012.
- www.ncdc.noaa.gov di akses tanggal 14 April 2012.

Identifikasi *Upwelling* Berdasarkan Distribusi Vertikal Suhu, Sigma- t , dan Arus di selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Barat

Liza Lidiawati¹⁾, Safwan Hadi²⁾, Nining Sari Ningsih²⁾, dan Mutiara Rachmat Putri²⁾

- 1) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bengkulu, Jl. Raya Kandang Limun, Gedung T FMIPA, Bengkulu
- 2) Program Studi Sains Kebumihan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung, 40132
Email: liza_llw@students.itb.ac.id

ABSTRAK

Upwelling adalah proses pengangkatan massa air dingin yang kaya zat hara dari lapisan dalam ke permukaan. Salah satu perairan di Indonesia yang telah teridentifikasi sebagai lokasi *upwelling* adalah perairan selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Barat (NTB). Kajian dinamika *upwelling* ini menggunakan Model Hidrodinamika *HAMBURG Shelf Ocean Model* (HAMSOM) tiga dimensi (3D) Baroklinik. Hasil simulasi model di empat transek, yaitu Banten, Jawa Tengah, Jawa Timur dan NTB meliputi distribusi suhu, sigma- t , dan arus secara spasial (vertikal dan horizontal) digunakan untuk mengetahui terjadinya *upwelling*. Secara vertikal, distribusi suhu, sigma- t , dan arus menunjukkan bahwa selatan Jawa Timur merupakan daerah *upwelling* yang paling intensif di banding transek lainnya. Hal ini terlihat dari isotherm dan isopiknal yang paling naik ke permukaan dari lepas pantai menuju pantai dan arus vertikal mencapai 61 km dari pantai menuju lepas pantai dengan nilai 2×10^{-5} m/det.

Kata kunci: Model HAMSOM, isotherm, isopiknal, arus vertikal, selatan Jawa Timur

ABSTRACT

Upwelling is a mass removal process of cold water which rich in nutrients from the inner layer to the surface. One of Indonesia waters which has been identified as the location of *upwelling* is southern waters of Java to West Nusa Tenggara (NTB). The study of *upwelling* dynamic uses a Hydrodynamic Model of *HAMBURG Shelf Ocean Model* (HAMSOM) three-dimensional (3D) Baroklinik. The results of model simulation in four transects, Banten, Central Java, East Java and NTB includes spatial distribution of temperature, sigma- t , and current velocity (vertical and horizontal) used to determine the occurrence of *upwelling*. Vertically, distribution of temperature, sigma- t , and current velocity show that southern East Java is the most intense *upwelling* regions compared to other transects. This is can be seen from isotherm and isopiknal that up to the surface towards coast and vertical current reaches 61 km from the coast to offshore with value of 2×10^{-5} m/s.

Keywords: HAMSOM Model, isotherm, isopiknal, vertical current, south of East Java

Pendahuluan

Upwelling adalah fenomena gerakan naiknya massa air dingin yang kaya unsur hara dari lapisan dalam ke permukaan suatu perairan. Tingginya kadar unsur hara tersebut merangsang perkembangan fitoplankton dan meningkatkan kesuburan perairan di sekitarnya. Lokasi *upwelling* merupakan area yang sangat ideal untuk tangkapan ikan (*fishing ground*). Selain penting bagi industri perikanan, *upwelling* juga dapat mengubah cuaca lokal, akibat adanya air dingin yang terangkat ke permukaan yang mengakibatkan suhu permukaan di daerah *upwelling* lebih rendah daripada sekitarnya sehingga mempengaruhi atmosfer di atasnya, udara menjadi stabil dan konveksi melemah.

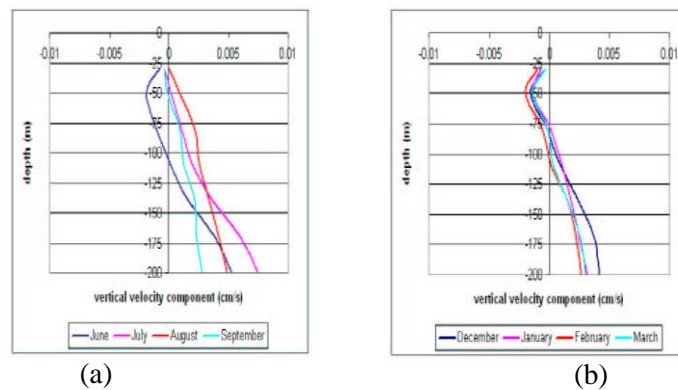
Beberapa peneliti telah melakukan identifikasi lokasi dan intensitas *upwelling* serta korelasinya terhadap variabilitas iklim di perairan selatan Jawa hingga Nusa Tenggara Barat (NTB) dengan menggunakan data citra satelit berupa distribusi suhu permukaan laut dan nilai konsentrasi klorofil-*a* (Susanto, dkk., 2001; Kunarso, 2005; Rakhmaputeri, 2010). Kajian dinamika *upwelling* secara vertikal di perairan Indonesia masih sangat terbatas, terutama yang dikaitkan dengan fenomena monsun, *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), dan *Indian Ocean Dipole* (IOD). Pergerakan *upwelling* telah diidentifikasi dengan menggunakan perhitungan besarnya kecepatan arus vertikal berdasarkan hasil model hidrodinamika 3D barotropik (Ningsih dkk., 2002; Yusuf, 2002). Informasi secara vertikal sangat penting dalam mengkaji secara detail dinamika dan kejadian *upwelling* pada suatu perairan berdasarkan parameter indikator *upwelling* yaitu variasi suhu, $\sigma-t$, dan arus. Kajian secara vertikal ini juga diperlukan sebagai informasi awal dalam menentukan daerah penangkapan ikan (*fishing ground*). Untuk kepentingan kajian tersebut dapat diperoleh informasi vertikal melalui observasi langsung, namun tentunya membutuhkan biaya yang sangat tinggi dan waktu yang lama. Untuk melakukan penghematan, maka dapat pula dilakukan dengan pemodelan numerik perairan laut.

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap distribusi suhu, $\sigma-t$, dan arus secara spasial (horizontal dan vertikal) di daerah selatan Jawa hingga NTB dengan menggunakan hasil model hidrodinamika HAMSOM 3D Baroklinik pada tahun 1990 dan memverifikasi hasil model dengan data yang disajikan Purba (2007).

Studi Pustaka

Daerah *upwelling* telah diidentifikasi berdasarkan sebaran suhu permukaan laut (secara horizontal) dengan model hidrodinamika 3D baroklinik di perairan Indonesia termasuk perairan selatan Jawa yang dikaitkan dengan monsun dan variabilitas iklim yang meliputi tahun normal, *El Niño*, dan *La Niña* (Supangat, dkk., 2004; Ningsih, dkk., 2004).

Berdasarkan hasil simulasi HAMSOM 3D mode baroklinik (Putri, 2005), arus vertikal di 109 °BT (daerah Cilacap) pada monsun Tenggara, 111 km dari pantai pada kedalaman kurang dari 75 m menunjukkan kecepatan $+2,5 \times 10^{-5}$ m/det, sedangkan di daerah kedalaman hingga 200 m mencapai maksimum pada bulan Juli kira-kira $+8 \times 10^{-5}$ m/det (Gambar 1.a). Hal ini menunjukkan terjadinya *upwelling* dengan adanya arus yang menuju permukaan dari kedalaman 200 m tersebut yang ditandai dengan tanda +. Sedangkan pada monsun Barat Laut di kedalaman kurang dari 75 m kecepatannya kira-kira $-2,5 \times 10^{-5}$ m/det. Ini menunjukkan adanya arus menuju ke bawah permukaan yang ditandai dengan tanda - dan kedalaman hingga 200 m kecepatannya maksimum bulan desember kira-kira $+4 \times 10^{-5}$ m/det (Gambar 1.b).



Gambar 1. Komponen arus vertikal di 109 °BT, 111 km dari pantai pada (a) monsun Tenggara dan (b) monsun Barat Laut, (Sumber: Putri, 2005)

Menurut Purba (2007) lokasi *upwelling* yang paling intensif pada monsun Tenggara ini berada di selatan Jawa Timur. Total transpor massa air ke arah selatan selain akibat gesekan angin zonal juga akibat poros Arus Khatulistiwa Selatan (AKS) yang lebih dekat ke pantai Jawa Timur dibandingkan pantai Jawa Barat pada musim timur sehingga *upwelling* juga lebih intensif di pantai selatan Jawa Timur.

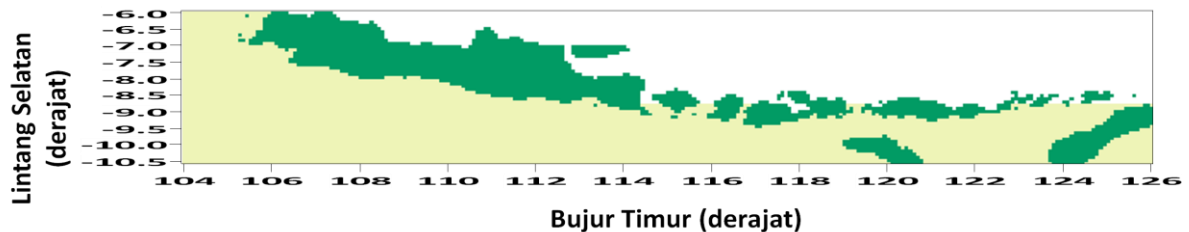
Menurut Kemili dan Putri (2012) selatan Jawa Timur memiliki durasi kejadian *upwelling* lebih panjang (3–4 bulan) dan intensitas lebih tinggi (anomali SST mencapai >-2 °C di bawah rata-rata) serta menghasilkan produktivitas primer yang paling tinggi mencapai 300-

800 mgCm^{-2} per hari. Tingginya produktivitas primer di selatan Jawa ini terjadi karena adanya proses *upwelling* di pantai selatan Jawa dan sepanjang pantai selatan Bali sampai Nusa Tenggara pada saat musim timur.

Metodologi

Studi ini menggunakan Model hidrodinamika 3D mode baroklinik yaitu *HAMBURG Shelf Ocean Model* (HAMSOM). Model ini menggunakan skema semi-implisit untuk pemisahan mode internal dan eksternal yang memberikan keleluasaan pada kriteria stabilitas.

Daerah studi meliputi wilayah perairan selatan Jawa hingga NTB ($104^{\circ} 0' - 126^{\circ} 0'$ Bujur Timur (BT); $6^{\circ} 0' - 10^{\circ} 30'$ Lintang Selatan (LS)) dengan batas-batas sebagai berikut (Gambar 2): Utara: $6^{\circ} 0'$ LS dan $8^{\circ} 25'$ LS (dari Selat Bali sampai ke timur), Barat: $104^{\circ} 0'$ BT, Selatan: $10^{\circ} 30'$ LS, Timur: $126^{\circ} 0'$ BT.



Gambar 2. Daerah studi Perairan selatan Jawa-NTB (warna kuning)

Desain model memiliki ukuran grid 5 menit dalam arah horizontal (x dan y) dan terdapat 30 lapisan vertikal. Jumlah total sel sebanyak 264 arah *longitude* (mulai 104° BT sampai 126° BT), 55 arah *latitude* (dari 6° LS sampai $10^{\circ} 30'$ LS) dan 30 lapisan vertikal. Data batimetri diperoleh dari *General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)* yang dapat di *download* pada alamat <http://www.gebco.net> dengan grid satu menit dalam arah lintang maupun bujur. Oleh karena model numerik ini menggunakan batimetri dengan ukuran grid 5 menit, maka dilakukan perata-rataan setiap 5 grid dalam arah sumbu- x dan y . Nilai awal model berupa data temperatur dan salinitas diperoleh dari hasil running HAMSOM 3D mode baroklinik (Putri dan Pohlmann, 2010). Data ini memiliki resolusi horizontal $5' \times 5'$ menit arah lintang dan bujur dan 30 lapisan pada standar lapisan kedalaman.

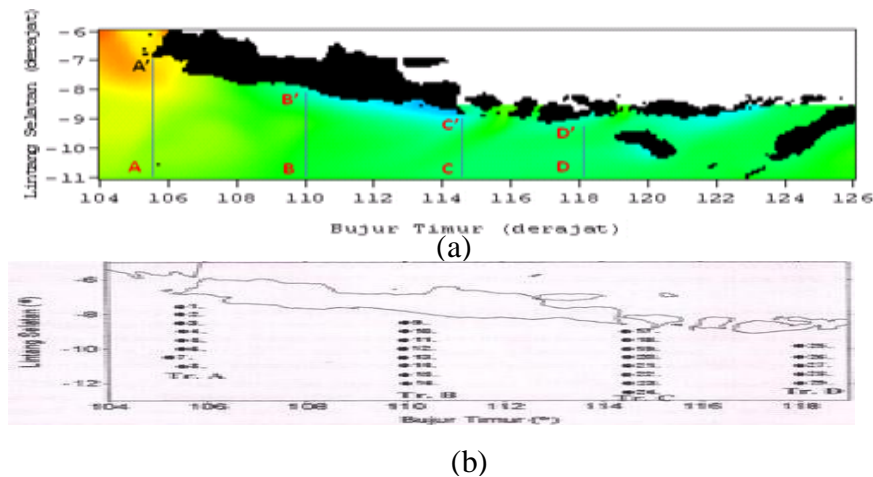
Gaya pembangkit pada batas terbuka daerah model di peroleh dari *Ocean Tides Prediction System (OTPS)/OSU Tidal Data Inversion* (<http://volkov.oce.orst.edu/tides/>) dengan resolusi $1/6^{\circ}$ arah lintang dan bujur atau 10 menit dan diinterpolasi menjadi 5 menit. Data pasang surut untuk HAMSOM terdiri dari 13 Komponen Pasang Surut yaitu M2, S2, K2, N2, K1, O1, P1, Q1, Mf, Mm, M4, MS4, dan MN4. Parameter atmosfer yang diperoleh dari *National Centre for Environment Prediction (NCEP)* dengan resolusi $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ dengan interval waktu 6 jam meliputi curah hujan (presipitasi), penguapan (evaporasi),

kecerahan, tekanan udara permukaan, temperatur muka laut, kelembaban, kecepatan angin komponen arah- u dan arah- v .

Hasil model HAMSOM 3D mode baroklinik berupa suhu, σ_t dan arus tahun 1990 diverifikasi dengan menggunakan data CTD yang disajikan oleh Purba (2007) di 4 lokasi, yaitu Banten, Jawa Tengah, Jawa timur, dan Sumbawa (NTB).

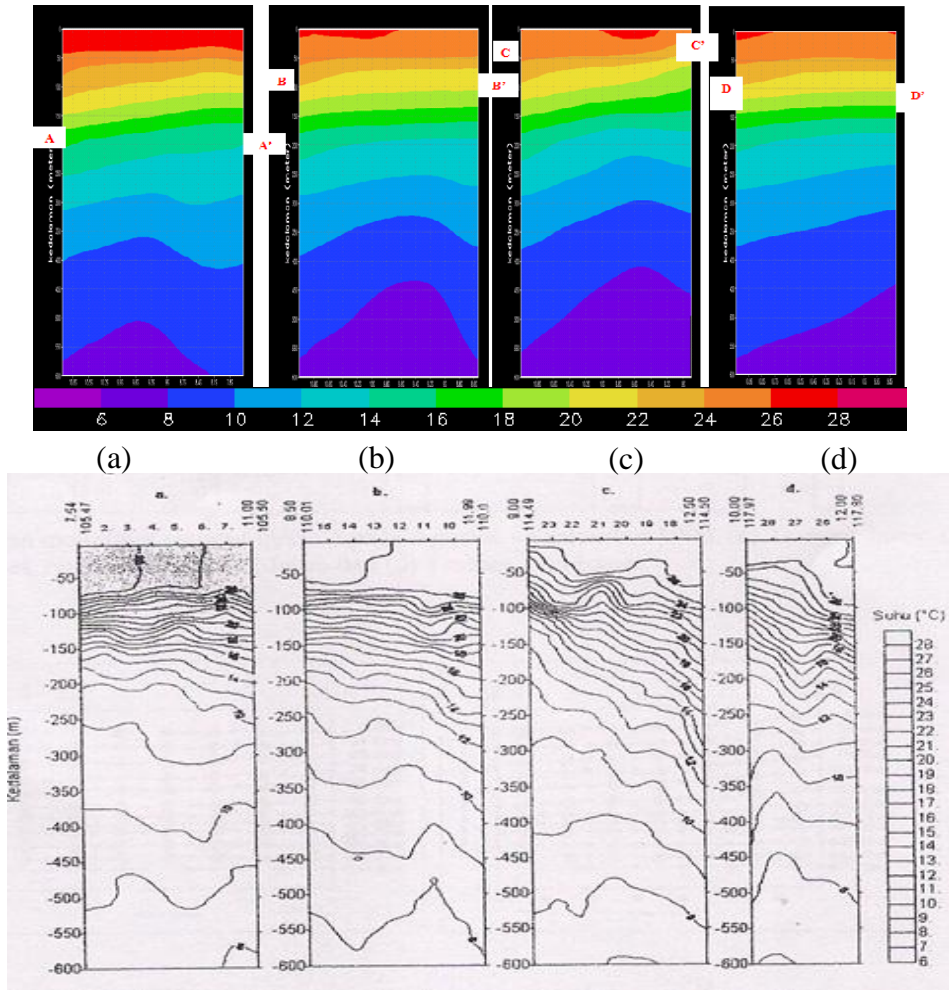
Hasil dan Pembahasan

Hasil model HAMSOM 3D mode baroklinik pada monsun Tenggara tahun 1990 berupa distribusi suhu, σ_t , dan arus secara vertikal dianalisis untuk menerangkan dinamika *upwelling* di perairan selatan Jawa hingga NTB. Daerah kajian dibagi menjadi empat transek dengan arah meridional untuk Banten (Transek AA') yaitu $7^{\circ} 30' - 10^{\circ} 30' \text{ LS}$, Jawa Tengah (Transek BB') $8^{\circ} 15' - 10^{\circ} 30' \text{ LS}$, Jawa Timur (Transek CC') $8^{\circ} 45' - 10^{\circ} 30' \text{ LS}$ dan NTB (Transek DD') $8^{\circ} 52' - 10^{\circ} 30' \text{ LS}$ dengan kedalaman 0-600 m (Gambar 3).

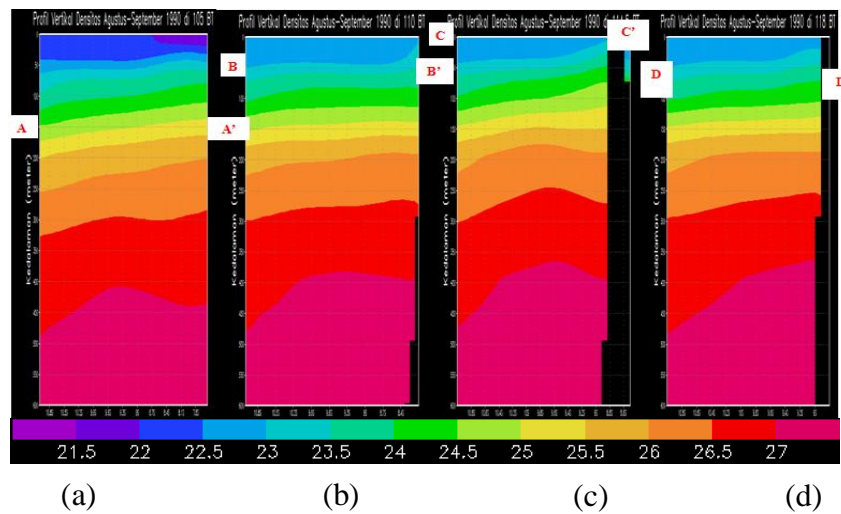


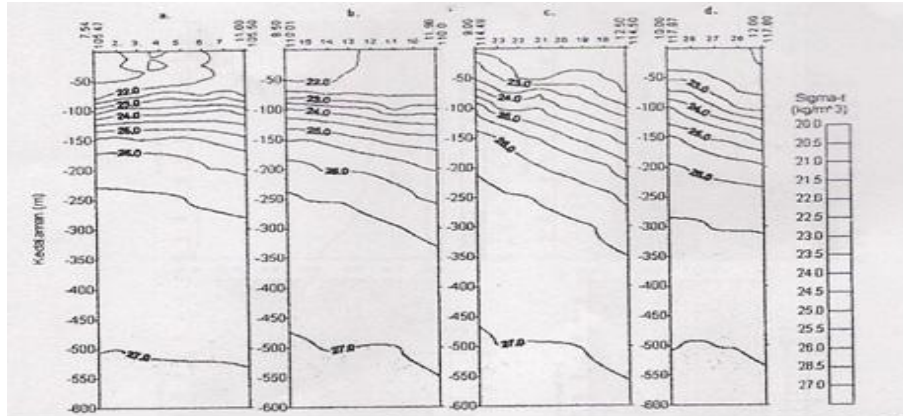
Gambar 3. (a) Daerah Studi; Transek AA' (Banten), BB' (Jawa Tengah), CC' (Jawa Timur), dan DD' (NTB) (b) Daerah studi Purba (2007) Transek A (Banten), B (Jawa Tengah), C (Jawa Timur), dan D (NTB) di perairan selatan Jawa hingga NTB.

Profil vertikal suhu dan σ_t rata-rata bulan Agustus-September 1990 pada lapisan permukaan dan termoklin menunjukkan bahwa garis isoterm dan isopiknal cenderung lebih menaik ke arah pantai pada Jawa Timur (Transek CC') dan NTB (Transek DD') dibanding Jawa Tengah (Transek BB') dan Banten (Transek AA') (Gambar 4 dan 5). Garis isoterm dan isopiknal yang menaik dari lepas pantai ke arah pantai pada Jawa Timur, NTB, dan Jawa Tengah memberi indikasi terjadinya *upwelling*. Transek CC' yang merupakan daerah selatan Jawa Timur, memperlihatkan garis isoterm dan isopiknal yang paling curam menaik ke arah pantai dibanding Transek DD' dan BB'. Pada Transek AA' (Banten) tidak terlihat garis isoterm dan isopiknal menaik ke arah pantai, bahkan garis isoterm dan isopiknal cenderung menurun ke arah pantai di lapisan permukaan dan bagian atas lapisan termoklin.



Gambar 4. Profil vertikal suhu pada kedalaman 0 - 600 m pada bulan Agustus - September 1990 Hasil Model (atas); Purba, 2007 (bawah); (a) Banten (Transek AA'), (b) Jawa Tengah (Transek BB'), (c) Jawa Timur (Transek CC'), dan (d) NTB (Transek DD'). Skala warna satuannya °C dan A,B,C,dan D menyatakan lepas pantai serta A',B',C',dan D' menyatakan pantai.

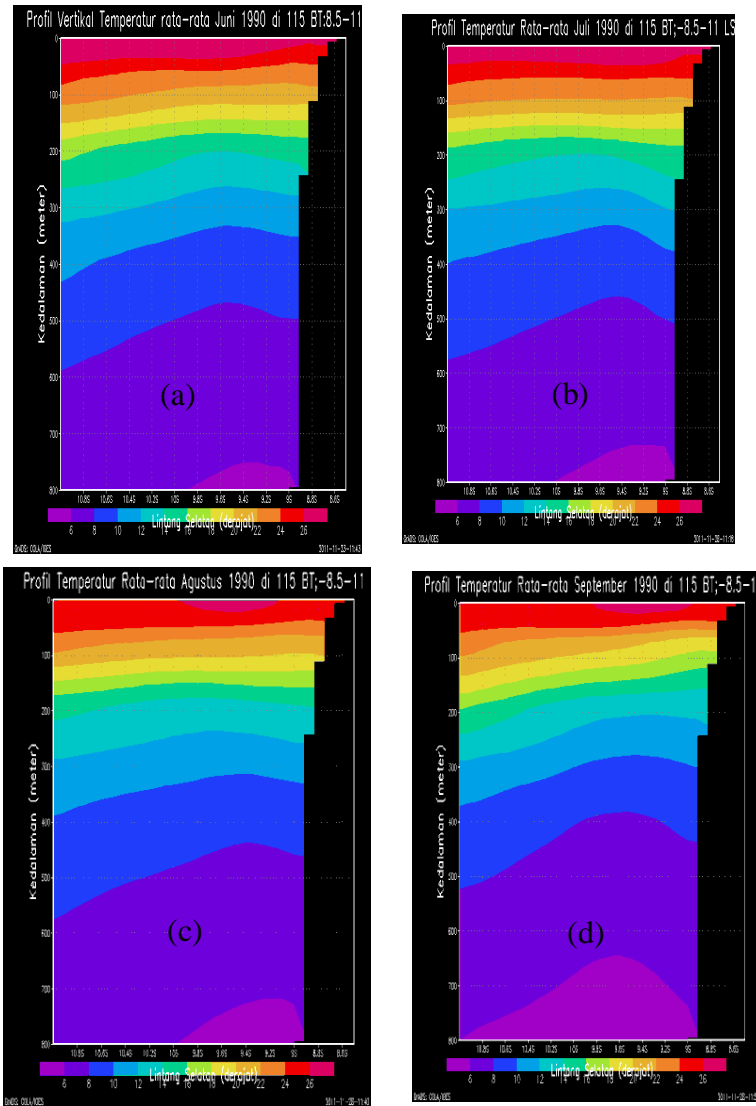




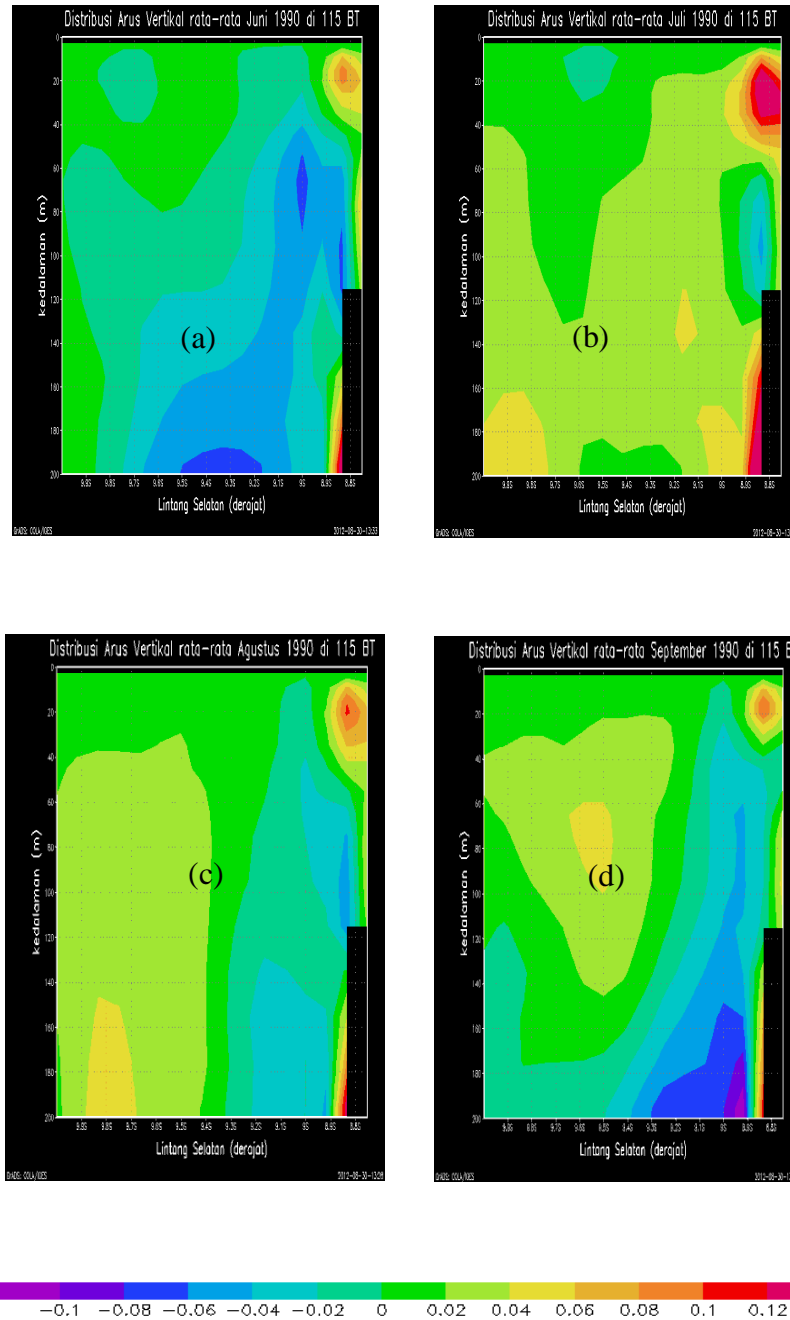
Gambar 5. Profil vertikal sigma- t pada kedalaman 0 - 600 m pada bulan Agustus - September 1990; Hasil Model (atas); Purba, 2007 (bawah); (a) Banten (Transek AA'), (b) Jawa Tengah (Transek BB'), (c) Jawa Timur (Transek CC'), dan (d) NTB (Transek DD'). Skala warna dalam g/cm^3 dan A,B,C, dan D menyatakan lepas pantai serta A',B',C', dan D' menyatakan pantai.

Lokasi *upwelling* yang diindikasikan oleh distribusi vertikal suhu dan sigma- t (Gambar 4 dan 5) konsisten dengan hasil Purba (2007). Distribusi vertikal suhu dan sigma- t memperlihatkan adanya *upwelling* pada transek yang sama dengan pola yang mirip berturut-turut yaitu Transek Jatim, Transek NTB, dan Transek Jateng. Sedangkan Transek Banten tidak menunjukkan adanya indikasi *upwelling* baik hasil model maupun data CTD. Transek Jatim menunjukkan daerah yang paling kuat terjadi *upwelling* baik hasil model maupun data CTD dengan indikator maksimum menaiknya garis isotherm dan isopiknal ke arah pantai di daerah tersebut baik di lapisan permukaan maupun termoklin. Walaupun demikian, terdapat perbedaan kedalaman isotherm dan isopiknal yang terangkat ke permukaan. Hal ini dapat dimaklumi karena data yang digunakan Purba (2007) merupakan data ekspedisi hasil pengukuran satu kali dan berbeda metode pendekatan antara pengukuran langsung dengan pendekatan model.

Untuk melihat pertumbuhan kejadian *upwelling* disajikan distribusi vertikal suhu terhadap kedalaman 0-600 m di lokasi *upwelling* yang paling kuat yaitu selatan Jawa Timur (Gambar 6) dan arus vertikal 0-200 m (Gambar 7). Distribusi vertikal suhu di selatan Jawa Timur menunjukkan bahwa garis isotherm mulai naik ke arah pantai baik di lapisan permukaan maupun lapisan termoklin pada bulan Juni, Juli, Agustus dan mencapai maksimum bulan September.



Gambar 6. Distribusi rata-rata suhu vertikal pada kedalaman 0-600 m pada Tahun 1990 di perairan selatan Jawa Timur (115° BT; $8^{\circ} 45' -10^{\circ} 30' LS$) (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus, dan (d) September.



mm/s

Gambar 7. Distribusi rata-rata arus vertikal 0-200 m pada Tahun 1990 di selatan Jawa Timur (a) Juni, (b) Juli, (c) Agustus, dan (d) September.

Berdasarkan nilai distribusi arus vertikal pada kedalaman 0-200 m diketahui bahwa ada arus yang bernilai positif artinya arus naik menuju lapisan permukaan di selatan Jawa Timur. Arus vertikal mulai muncul pada bulan Juni di kedalaman 20 m dengan kisaran nilai kira-kira 2×10^{-5} m/det dengan jarak 16,6 km ke arah lepas pantai dari pantai selatan Jawa Timur. Pada bulan Juli, arus vertikal mencapai nilai maksimum sebesar $1,2 \times 10^{-4}$ m/det dengan jarak 11 km ke arah lepas pantai. Untuk kecepatan 2×10^{-5} m/det arus naik ke permukaan hingga jarak 61 km dari pantai ke arah lepas pantai selatan Jawa Timur. Bulan Agustus menunjukkan arus vertikal memiliki nilai kira-kira 6×10^{-5} m/det dengan jarak 24

km ke arah lepas pantai. Sedangkan bulan September, arus vertikal semakin berkurang dengan nilai kira-kira 2×10^{-5} m/det dengan jarak 14 km ke arah lepas pantai. Pada bulan September arus vertikal tampak semakin lemah karena mulai terjadi arus yang bergerak menuju bawah permukaan (arus vertikal bernilai negatif).

Pembahasan

Distribusi suhu, $\sigma-t$ dan arus menunjukkan bahwa fenomena *upwelling* mulai muncul pada monsun Tenggara (Juni-September). Kejadian *upwelling* dimulai dengan adanya arus vertikal yang menuju permukaan (bertanda positif) pada bulan Juni dan maksimum terjadi pada bulan Juli. Menurut Yusuf (2002) berdasarkan hasil simulasi, kecepatan arus vertikal rata-rata di perairan pantai selatan Jawa adalah $5,52 \times 10^{-4}$ m/det dimana hasil ini mendekati kecepatan di perairan selatan Banyuwangi, Jawa Timur, sebesar $4,9 \times 10^{-4}$ m/det (Hendiarti, dkk., 1995). Arus vertikal ke permukaan ini membawa massa air yang lebih dingin dari bawah permukaan. Massa air yang dingin ini ditunjukkan dengan terjadinya kenaikan garis isoterm dan isopiknal ke arah pantai pada distribusi vertikal suhu dan $\sigma-t$ (Gambar 4 dan 5) dan dapat digunakan sebagai indikator terjadinya *upwelling* di selatan Jawa hingga NTB.

Kesimpulan

Distribusi vertikal suhu dan $\sigma-t$ memperlihatkan bahwa lokasi *upwelling* yang paling dominan adalah di selatan Jawa Timur yang ditunjukkan dengan menaiknya isoterm dan isopiknal dari lepas pantai ke arah pantai di lokasi tersebut. Distribusi arus vertikal juga memperlihatkan bahwa adanya arus vertikal yang naik ke permukaan hingga kedalaman 20 m. Daerah *upwelling* yang paling kuat terjadi di selatan Jawa Timur dengan jarak maksimum hingga 61 km ke arah lepas pantai dengan nilai kira-kira 2×10^{-5} m/det dan maksimum $1,2 \times 10^{-4}$ m/det dengan jarak 11 km ke arah lepas pantai. Distribusi SST dan arus horizontal juga secara konsisten menunjukkan bahwa Jawa Timur merupakan daerah yang paling intensif untuk terjadinya *upwelling* dibandingkan dengan daerah NTB, Jawa Tengah, dan Jawa Barat.

Hasil model distribusi vertikal suhu dan densitas pada tahun 1990 memperlihatkan hasil yang konsisten dengan data CTD yang disajikan Purba (2007). Hasil verifikasi menunjukkan daerah selatan Jawa Timur merupakan daerah yang memiliki intensitas *upwelling* yang tinggi.

Ucapan Terimakasih

Penulis sampaikan terima kasih setulusnya kepada tim pembimbing, yaitu Prof. Safwan Hadi, Ph.D, Dr.Eng. Nining Sari Ningsih, dan Dr. rer. nat. Mutiara Rachmat Putri serta Dr. Ivonne M. Radjawane sebagai Ketua Prodi Sains Kebumian, BPPS-DIKTI yang telah memberikan beasiswa Program Doktor Sains Kebumian Fakultas Ilmu dan Teknologi

Institut Teknologi Bandung. Tak lupa juga semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- Hendiarti, N., S. I. Sachoemar, A. Alkatiri, dan B. Winarno, 1995. *Pendugaan Lokasi Potensial Upwelling di perairan Selatan Pulau Jawa – Bali Berdasarkan Tinjauan parameter Fisika Oseanografi dan Konsentrasi Klorofil-a*. Makalah Seminar Kelautan.
- Kemili, P. dan Putri, M.R., 2012. *Pengaruh Durasi dan Intensitas Upwelling Berdasarkan Anomali Suhu Permukaan Laut Terhadap Variabilitas Produktivitas Primer di Perairan Indonesia*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, Vol. 4, No. 1, Hal. 66-79, Juni 2012
- Kunarso, 2005. *Kajian Penentuan Lokasi-Lokasi Upwelling di Perairan Indonesia dan Sekitarnya serta Kaitannya dengan Fishing Ground Tuna*. Tesis, Program Studi Magister Oseanografi, Sains Atmosfir, dan Seismologi, Institut Teknologi Bandung.
- Ningsih, N. S., S. Hadi, dan M. Yusuf, 2002. *Upwelling in the Southern Coast of Java and Its Relation to Seasonal Ocean Circulation by Using a Three-Dimensional Ocean Model*. Proceeding Pan Ocean Remote Sensing Conference 2:669-672.
- Ningsih, N.S., S. Hadi, A. Supangat, M. Yusuf, dan D.N. Handiani, 2004. *Fishing Ground Prediction in Indonesian Waters Based on Upwelling Regions and Its relation to Seasonal Circulation*. Final Report, The Asahi Glass Foundation.
- Purba, M., 2007. *Dinamika Perairan Selatan Pulau Jawa – Pulau Sumbawa Saat Muson Tenggara*. Torani, Vol. 17 (2) Edisi Juni 2007: 140 - 150
- Putri, M.R., 2005. *Study of Ocean Climate Variability (1959-2002) in the Eastern Indian Ocean, Java Sea and Sunda Strait Using the HAMBURG Shelf Ocean Model*. Dissertation, Hamburg University.
- Putri, M.R., dan Pohlmann, 2010. *Impact of Climate Change to SST and Its Influence to Net Primary Production in The Indonesia Waters*. Laporan DAAD
- Rakhmaputeri, N., 2010. *Kajian Variabilitas Upwelling di Perairan Selatan Bali, Nusa Tenggara Barat, dan Laut Sawu dengan Menggunakan Penginderaan Jauh*. Tugas Akhir Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Supangat, A., N.S. Ningsih, P.A. Winarso, M. Yusuf, dan D.N. Handiani, 2004. *Model Sebaran Suhu Permukaan Laut untuk Mempelajari Pergerakan “Kolam Air Hangat” (Sebagai Tambang Ikan Tuna) di perairan Indonesia dan Korelasinya dengan Variabilitas Iklim*. Laporan Akhir Tahun III, RUT IX, Bidang Kelautan, Kebumihan, dan Kedirgantaraan.

Susanto, R.D., A.L. Gordon, dan Q. Zheng, 2001. *Upwelling Along the Coasts of Java and Sumatra and Its Relation to ENSO*. *Geophysical Research Letters* 28:1,559–1,602.

Yusuf, M., 2002. *Model Numerik Upwelling di Perairan Indonesia Wilayah Tengah dan Barat serta Kaitannya dengan Perubahan Monsun*. Tesis, Program Studi Magister Oseanografi, Sains Atmosfir, dan Seismologi, Institut Teknologi Bandung.

<http://www.gebco.net>

<http://volkov.oce.orst.edu/tides/>

http://www.esrl.noaa.gov/psd/thredds/catalog/Datasets/ncep.reanalysis/surface_gauss/

PERSEMBAHAN OSEANOGRAFI ITB UNTUK INDONESIA
POSEIDON ITB 2012

PERSEMBAHAN OSEANOGRAFI ITB UNTUK INDONESIA
POSEIDON ITB 2012

Indonesia merupakan Negara kepulauan dengan panjang pantai lebih dari 81.000 km, di mana 2/3 wilayah kedaulatannya berupa perairan laut. Lokasi Indonesia strategis terletak di antara dua Benua, Asia dan Australia, serta di antara 2 Samudera, yaitu Pasifik dan Hindia. Selain itu Indonesia juga merupakan wilayah pertemuan antara 3 lempeng aktif utama yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Lokasi yang sangat strategis ini membuat wilayah perairan Indonesia memiliki sumber daya alam hayati, non hayati, maupun potensi bencana laut yang sangat tinggi. Besarnya potensi laut ini sayangnya masih kurang diteliti, dikembangkan, dan dimanfaatkan. Hal ini dikarenakan minimnya pengetahuan masyarakat akan perairan Indonesia. Melalui rangkaian acara POSEIDON ITB 2012, Himpunan Mahasiswa Oseanografi ITB memperkenalkan peran *ocean science* dalam menjawab tantangan besar kelautan Indonesia.

Mengusung tema '*Ocean Science for Indonesian Future*', POSEIDON ITB 2012 membawa 3 rangkaian acara utama yaitu pengabdian masyarakat, seminar, dan pameran. Pengabdian masyarakat POSEIDON ITB 2012 telah dilakukan di SDN Batukaras 1,2, dan 3, Jawa Barat pada tanggal 20 Juni 2012. Acara pengabdian masyarakat kepada siswa sekolah dasar ini mengangkat tema Simulasi Mitigasi Bencana Tsunami. Tsunami adalah bencana yang terjadi akibat adanya gangguan di tengah laut (dapat dikarenakan oleh gempa tektonik) yang menyebabkan terbentuknya gelombang yang tinggi ketika sampai di wilayah pantai. Tsunami merupakan bencana besar yang tidak bisa dicegah, namun dapat dilakukan antisipasi untuk menyelamatkan diri. 60 orang peserta dari 3 sekolah dikumpulkan bersama untuk memperoleh penjelasan mengenai bencana Tsunami. Dalam sosialisasi ini dijelaskan asal mula terbentuknya Tsunami, tanda-tanda terjadinya Tsunami, serta langkah siaga yang harus dilakukan ketika akan terjadi bencana Tsunami. Siswa juga dilibatkan aktif dalam simulasi mitigasi bencana Tsunami bersama di lapangan.

Setelah sukses dengan acara pengabdian masyarakat, POSEIDON ITB 2012 akan menggelar seminar nasional dan pameran pada tanggal 1 November 2012 di Aula Barat dan Aula Timur Institut Teknologi Bandung. Seminar nasional dengan tema besar 'Pengembangan Sains dan Teknologi Kelautan Menuju Negara Maritim sebagai Investasi Masa Depan Indonesia' menghadirkan Menteri Kelautan dan Perikanan sebagai keynote speaker. Selain itu akan digelar sesi diskusi panel oleh Prof.Dr.Safwan Hadi, M.Sc.(guru besar Oseanografi ITB), Dr.Sudirman Saad, M.Hum (Dirjen KP3K-KKP), Prof.Dr.Indra Jaya, M.Sc (dekan FPIK-IPB), serta Laksamana TNI Untung Suropati (Kepala Dinas Penerangan Angkatan Laut). Diskusi panel ini akan membahas lebih lanjut peran *ocean science* dalam menjawab tantangan masa depan Indonesia,

pembangunan basis data kelautan sebagai dasar pengembangan sains dan teknologi maritim, pemanfaatan teknologi akustik untuk mengungkap rahasia dasar laut, serta peran teknologi kelautan dalam menjaga kedaulatan Indonesia. Seminar nasional ini akan dimoderatori oleh Dr. Ivonne M. Radjawane, Ph. D (Ketua Pasca-sarjana Sains Kebumihan ITB). Setelah sesi diskusi panel akan diselenggarakan pula sesi seminar nasional mahasiswa kelautan seluruh Indonesia. Pada sesi ini akan disajikan hasil penelitian mahasiswa-mahasiswa di bidang kelautan. Diharapkan melalui adanya sesi ini hasil-hasil penelitian di bidang kelautan dapat dipublikasikan secara langsung kepada masyarakat.

Di tempat terpisah, di Aula Barat ITB, akan diselenggarakan pula pameran kelautan yang bertema '*ocean life*' pada tanggal 1 November 2012. Pameran akan mempersembahkan instansi-instansi yang bergerak di bidang kelautan seperti T-Files yang aktif dalam industri pembuatan turbin arus laut untuk pembangkit listrik, beberapa himpunan mahasiswa yang menampilkan hasil karya ciptanya seperti Keluarga Mahasiswa Teknik Kelautan (KMKL ITB) dengan *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut, Keramba Jaring Apung, unit selam Nautika ITB, dll. Melalui pameran ini diharapkan masyarakat mendapatkan informasi lebih mengenai wilayah kelautan serta elemen-elemen yang ikut berkontribusi aktif dalam penelitian serta pengembangannya.

DOKUMENTASI KEGIATAN

A. Kegiatan penyuluhan mitigasi bencana Tsunami di SDN 1,2, dan 3 Batukaras



Keterangan: pemberian materi kepada siswa SD



Keterangan: pengarahan pada siswa SD pada simulasi mitigasi bencana Tsunami



Keterangan: keceriaan siswa-siswi SD melakukan simulasi mitigasi bencana Tsunami



Keterangan: keceriaan siswa-siswi SD melakukan simulasi mitigasi bencana Tsunami



Keterangan: siswa-siswi SD berperan sebagai gelombang Tsunami yang akan menghantam pantai



Keterangan: penyerahan kenang-kenangan kepada KUPTD Batukaras oleh Ketua Panitia



Keterangan: foto bersama se usai kegiatan pengabdian masyarakat

B. Kegiatan pawai POSEIDON ITB 2012



Keterangan: keceriaan pawai pada rangkaian acara POSEIDON ITB bersama 'RIPO', maskot POSEIDON ITB 2012



Keterangan: keceriaan pawai pada rangkaian acara POSEIDON ITB bersama 'RIPO', maskot POSEIDON ITB 2012

C. Kegiatan pameran POSEIDON ITB 2012



Keterangan: kegiatan pameran POSEIDON ITB 2012



Keterangan: pemotongan pita pembukaan acara pameran di depan Turbin Arus Laut karya alumni Program Studi Oseanografi ITB



Keterangan: kegiatan pameran POSEIDON ITB 2012

C. Kegiatan seminar POSEIDON ITB 2012



Keterangan: sesi tanya jawab seminar nasional kelautan POSEIDON ITB 2012



Keterangan: sesi foto bersama dan penyerahan kenang-kenangan, seminar nasional kelautan POSEIDON ITB 2012



Keterangan: sesi tanya jawab pada seminar mahasiswa POSEIDON ITB 2012

C. Kegiatan penutupan rangkaian acara POSEIDON ITB 2012



Keterangan: penutupan acara POSEIDON ITB 2012



Keterangan: penutupan acara POSEIDON ITB 2012