

PENGARUH TEMPERATUR PACK ALUMINIZING PADUAN INTERMETALIK DUA FASA α_2 -Ti₃Al/ γ -TiAl TERHADAP HOT CORROSION DALAM LELEHAN GARAM Na₂SO₄+NaCl PADA TEMPERATUR 850°C

Fadhli Muhammad, Eddy Agus Basuki

Program Studi Teknik Metalurgi, FTTM-Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha, 10, Bandung, 40132
Email: fadhlim_08@students.itb.ac.id, basuki@mining.itb.ac.id

ABSTRAK

Pada paper ini dibahas ketahanan terhadap *hot corrosion* paduan Ti-46Al-2Cr-2Mo yang di-coating menggunakan metode *pack aluminizing* pada temperatur yang bervariasi. Ketahanan terhadap *hot corrosion* pada paduan dievaluasi untuk mendapatkan temperatur proses *pack aluminizing* yang terbaik. Pengujian *hot corrosion* dilakukan dalam campuran garam Na₂SO₄ + NaCl leleh pada temperatur 850°C. Hasil percobaan menunjukkan *pack aluminizing* pada temperatur 900°C memberikan ketahanan terhadap *hot corrosion* yang paling baik diikuti dengan *pack aluminizing* pada 1000°C. Sementara, *pack aluminizing* pada temperatur 1100°C menghasilkan lapisan *coating* yang retak sehingga memicu pertumbuhan *pitting* dan mempercepat laju korosi yang berakibat pada terjadinya kerusakan yang parah pada paduan yang di-coating pada temperatur 1100°C. Proses *pack aluminizing* paling baik dilakukan pada selang temperatur 900 – 1000°C dengan waktu proses 10 jam.

Kata kunci: coating, hot corrosion, intermetalik, pack aluminizing, titanium aluminida.

I. PENDAHULUAN

Paduan intermetalik Ti-Al mulai mendapat perhatian khusus dikalangan industri terutama pada aplikasi temperatur tinggi untuk mesin pesawat terbang (aeroengine) dan mesin otomotif dikarenakan densitasnya yang rendah (setengah densitas superalloy berbasis nikel), kekuatan pada temperatur tinggi yang baik, ketahanan perayapan yang baik, dan ketahanan oksidasi/korosi yang cukup baik. Paduan intermetalik ini menjadi kandidat kuat pengganti paduan titanium konvensional pada bagian kompresor dan juga superalloy berbasis nikel pada bagian turbin bertekanan rendah pada mesin turbin gas pesawat terbang[1].

Paduan intermetalik Ti-Al yang dikembangkan adalah paduan 2 fasa α_2 -Ti₃Al dan γ -TiAl. Paduan γ -TiAl yang telah digunakan pada *turbocharger rotors* pada mesin otomotif[2] dan sekarang digunakan sebagai bilah turbin pada mesin GENx dikembangkan oleh General Electric[3]. Paduan Ti-47Al-2Cr-2Nb yang lulus sertifikasi FAR33 pada tahun 2007 untuk mesin GENx yang akan memperkuat Boeing 787 dinilai telah menjadi terobosan terbesar dalam pengembangan teknologi TiAl sampai saat ini[1].

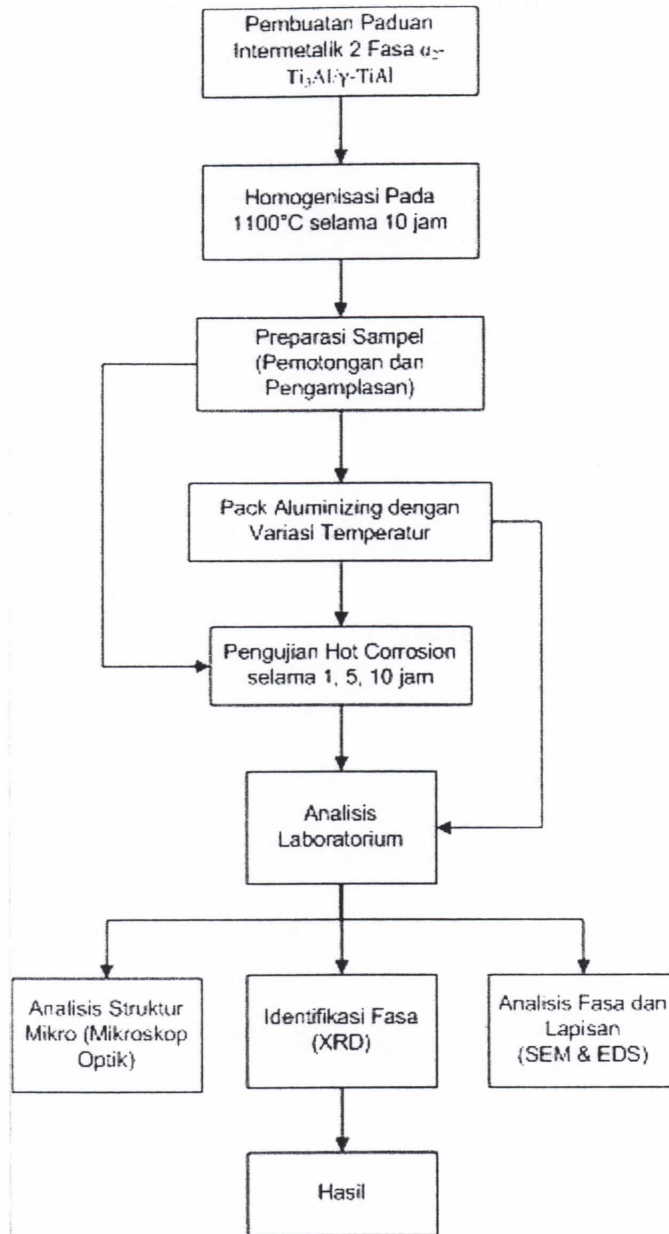
Salah satu permasalahan utama dari paduan intermetalik 2 fasa α 2-Ti3Al/ γ -TiAl ini adalah ketahanan oksidasinya yang relatif rendah pada temperatur diatas 750°C. Untuk meningkatkan ketahanan oksidasi dan hot corrosion, dapat digunakan lapisan pelindung pada paduan ini.

Pembentukan lapisan pelindung ini biasanya dilakukan dengan cara pengkayaan unsur Al, Cr, dan Si pada permukaan material agar dapat membentuk kerak oksida protektif Al₂O₃, Cr₂O₃ dan SiO₂[4]. Diantara ketiga jenis oksida tersebut, Al₂O₃ merupakan kerak oksida yang paling stabil untuk aplikasi pada temperatur diatas 900°C. Oksida Cr₂O₃ dan SiO₂ cenderung membentuk fasa yang mudah menguap pada temperatur diatas 900°C[5].

Pelapisan aluminida pada sistem Ti-Al (TiAl₂ dan TiAl₃) dilakukan dengan metoda *pack cementation*. Karena menggunakan unsur Al sebagai bahan pelapisnya, metoda ini umum disebut *pack aluminizing*. Metoda ini dipilih karena prosesnya mudah, murah, dan dapat diaplikasikan pada bentuk yang rumit. Dalam studi ini dipelajari pengaruh temperatur proses pack aluminizing terhadap perilaku *hot corrosion* pada paduan intermetalik dua fasa α 2-Ti3Al / γ -TiAl pada temperatur 850°C.

II. PERCOBAAN

Substrat yang digunakan dalam percobaan ini adalah paduan intermetalik dua fasa α 2-Ti3Al/ γ -TiAl dengan komposisi 46% atom Al, 2% atom Cr, 2% atom Mo, dan sisanya Ti. Proses *aluminizing* dilakukan pada temperatur yang bervariasi yaitu 900°C, 1000°C, 1100°C selama 10 jam. Komposisi *pack* yang digunakan terdiri dari 23% serbuk Al sebagai sumber pelapis, 2% NH₄Cl sebagai aktivator, dan sisanya Al₂O₃ sebagai *inert filler*. Secara umum, percobaan dilakukan berdasarkan diagram alir pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram alir percobaan

Pembuatan Substrat

Proses pembuatan paduan intermetalik dua fasa α₂-Ti₃Al / γ-TiAl diawali dengan penimbangan berat logam-logam yang akan dilebur yang ditetapkan pada saat studi literatur diagram fasa. Penimbangan dilakukan menggunakan neraca elektrik dengan ketelitian 10⁻⁴ gram. Peleburan paduan dilakukan dengan menggunakan *electric arc furnace* (EAF-DC) pada lingkungan gas argon dengan kemurnian tinggi (high purity argon). Kemudian dilakukan homogenisasi untuk mendapatkan paduan yang homogen

serta untuk menghilangkan tegangan sisa yang tersimpan pada paduan hasil peleburan. Proses homogenisasi dilakukan dalam tanur tabung horisontal pada temperatur 1100°C selama 24 jam dalam lingkungan gas argon. Paduan yang berbentuk *button* selanjutnya dipotong berbentuk kupon dengan ukuran 8 mm x 7,5mm x 2mm menggunakan *wire cutter* dan kemudian permukaan sampel dihaluskan dan dicuci dengan *ultrasonic cleaner*. Potongan sampel berbentuk kupon ini kemudian digunakan sebagai substrat untuk proses *pack aluminizing*.

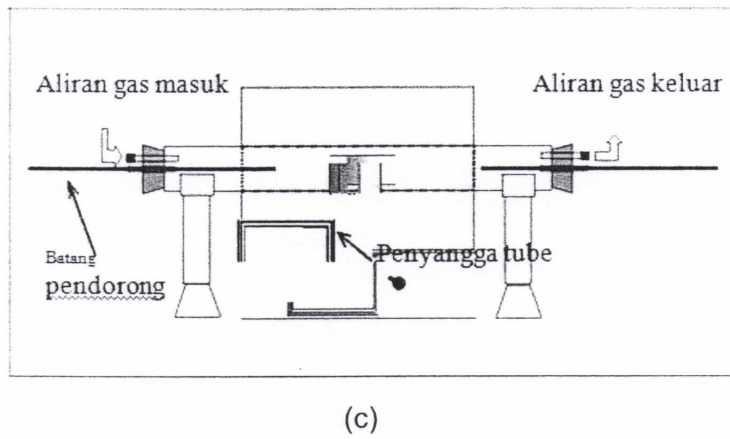
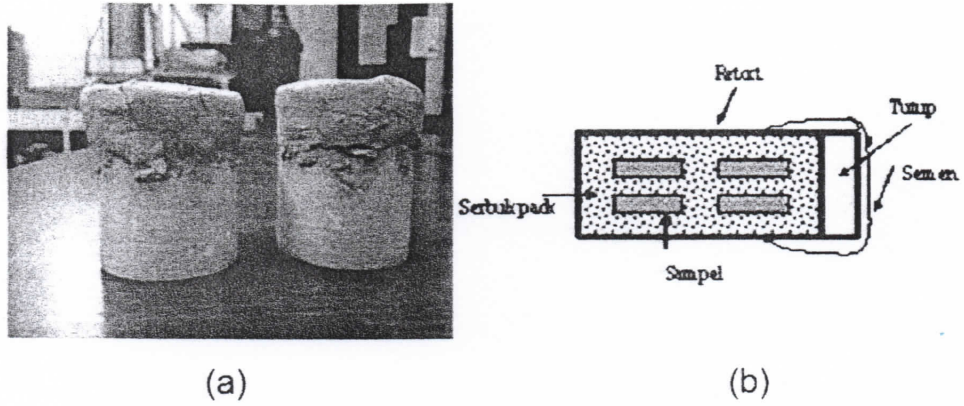
Pack Aluminizing

Pelapisan dilakukan dengan metode *pack aluminizing* dengan variasi temperatur. Pack yang disiapkan adalah campuran dari serbuk Aluminum, NH₄Cl, dan Al₂O₃. Komposisi campuran *pack* tercantum dalam **Tabel 1**. Bahan-bahan pengisi *pack* dipanaskan terlebih dahulu dalam oven pada temperatur 110°C selama 24 jam untuk menghilangkan moisture. Selanjutnya, bahan pengisi *pack* dimasukkan kedalam kotak argon dan dialiri argon selama 15 menit untuk mendesak udara dalam kotak argon keluar. Pack dicampur didalam kotak argon dan diaduk selama 15 menit agar homogen. Campuran bahan pengisi *pack* kemudian dimasukkan kedalam *retort* alumina bersama-sama dengan sampel, ditutup, dan disemen dengan semen alumina seperti ditunjukkan pada **Gambar 2(a) dan 2(b)**.

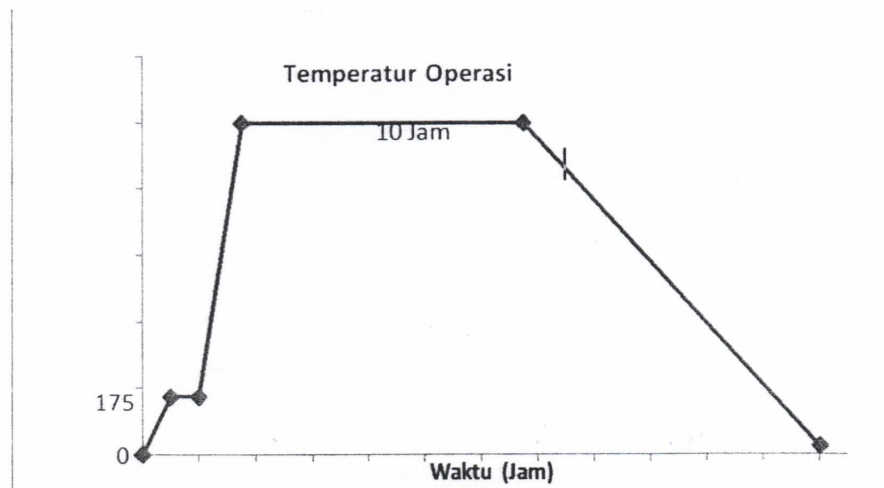
Tabel1. Komposisi pack dalam percobaan *pack aluminizing*

Material	Fungsi	% berat
Aluminum	Sumber	23
	Pelapis	
NH ₄ Cl	Aktivator	2
Al ₂ O ₃	Inert filler	75

Proses *pack aluminizing* dilakukan dengan cara memanaskan retort dalam tanur tabung horisontal (*tube furnace*) yang dialiri gas argon pada temperatur 900°C, 1000°C, dan 1100°C masing-masing selama 10 jam, dilanjutkan dengan proses pendinginan dalam tanur hingga mencapai temperatur kamar. Selama proses pemanasan dan pendinginan gas argon tetap dialirkan sampai temperatur kurang dari 100°C. Retort kemudian dikeluarkan dari dalam tanur dan dibongkar untuk mengeluarkan sampel hasil *pack aluminizing*. Sampel selanjutnya dicuci dengan air dan dibersihkan dengan *ultrasonic cleaner*. Skematik dari proses *pack aluminizing* ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Retort yang telah diisi dan disemen (a), ilustrasi penempatan sampel dalam retort (b), dan (c) ilustrasi penempatan retort dalam tube furnace

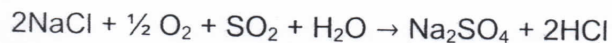


Gambar 3. Ilustrasi skematik proses pack aluminizing

II.3 Pengujian Hot Corrosion

Pengujian *hot corrosion* dilakukan untuk mengetahui ketahanan sampel hasil proses *pack aluminizing* pada berbagai temperatur serta menentukan temperatur proses *pack aluminizing* yang menghasilkan ketahanan paling baik terhadap *hot corrosion*. Pengujian dilakukan dengan cara merendam sampel hasil *pack aluminizing* dalam campuran garam leleh dengan komposisi 75% berat Na_2SO_4 + 25% berat NaCl pada temperatur 850°C selama 1 jam, 5 jam, dan 10 jam. Sampel dimasukkan kedalam garam leleh dalam *crucible* dengan penutup pada temperatur 850°C pada *muffle furnace* dengan atmosfer udara.

Sampel dikeluarkan dari *furnace* setiap selang waktu yang sudah ditentukan, didinginkan di udara, dicuci dengan air mendidih untuk menghilangkan garam yang menempel pada permukaan sampel, dan dikeringkan. Kinetika korosi dianalisis dengan cara mengukur ketebalan oksida yang terbentuk dengan menggunakan mikroskop optik. Pada aplikasinya, garam Na_2SO_4 terbentuk akibat adanya sulfur dari bahan bakar, udara yang mengandung garam NaCl dan *moisture*, serta lingkungan pembakaran yang oksidatif. Reaksi yang terjadi dalam ruang pembakaran adalah sebagai berikut :



Berdasarkan reaksi diatas, untuk mendekati kondisi sebenarnya, pengujian dilakukan dengan menggunakan garam Na_2SO_4 dan NaCl .

II.4 Karakterisasi Struktur Mikro

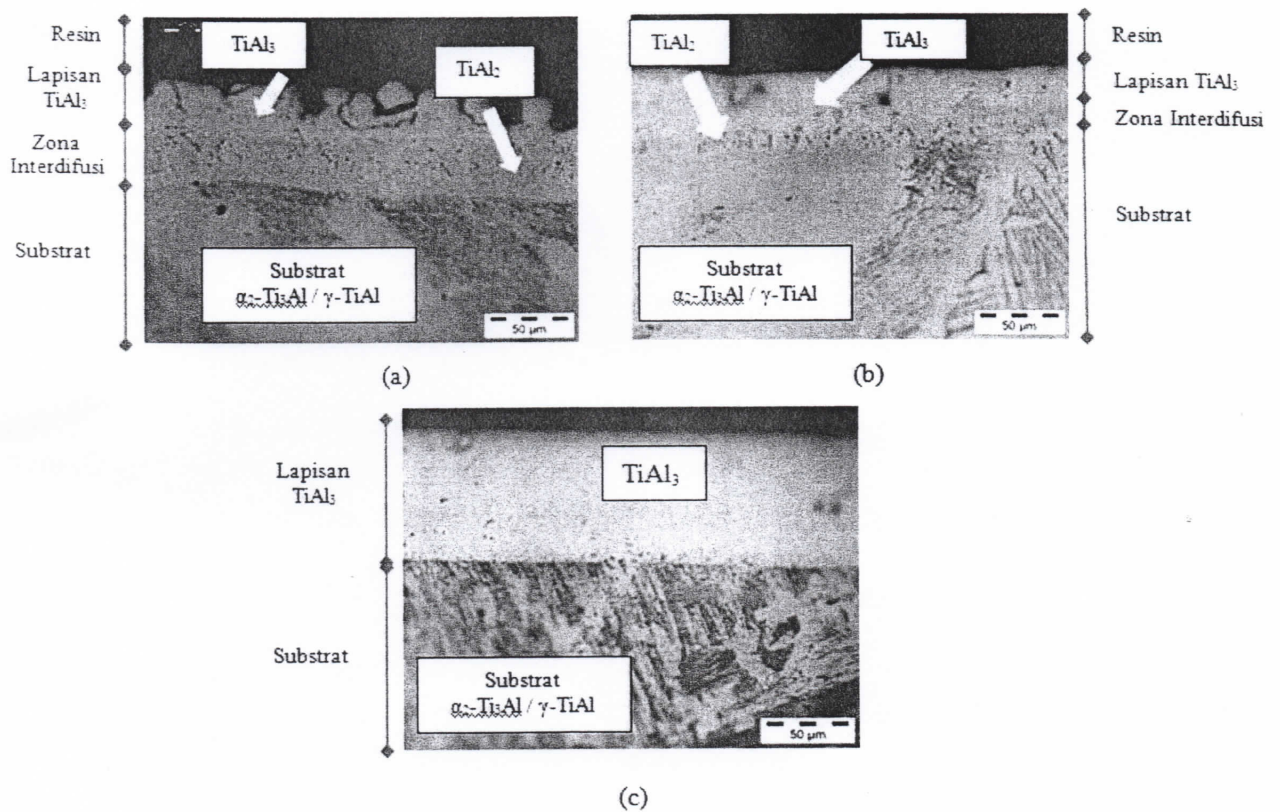
Sampel yang terkorosi di-*mounting* dengan resin, kemudian dihaluskan dengan kertas abrasif, dipoles menggunakan *diamond paste*, kemudian di-etsa dengan larutan 10 mL HF, 5 mL HNO_3 , dan 85 mL *aquadest*. Selanjutnya, sampel dianalisis dengan menggunakan mikroskop optik dan *scanning electron microscope* yang dilengkapi dengan *energy dispersive spectroscopy* (SEM/EDS).

III. HASIL PERCOBAAN

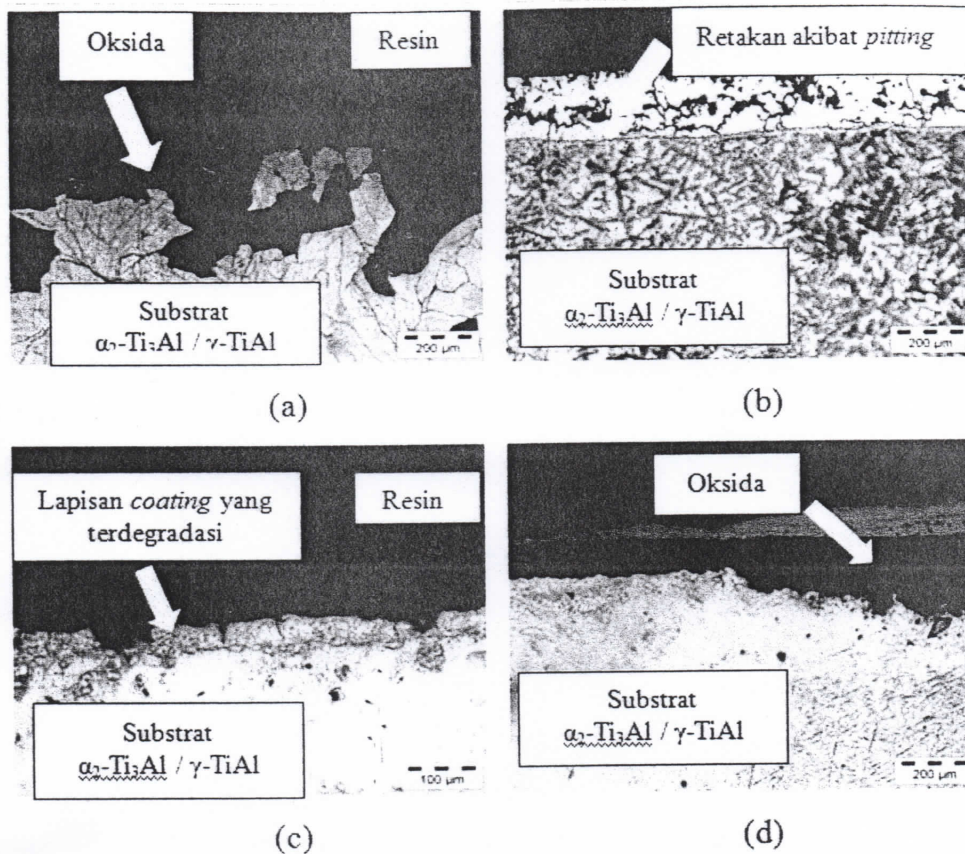
Gambar 4 menunjukkan foto struktur mikro hasil proses *pack aluminizing* secara berurutan pada temperatur 1100°C , 1000°C , dan 900°C . *Pack aluminizing* pada temperatur 1100°C menghasilkan lapisan *coating* dengan ketebalan rata-rata $35,45 \mu\text{m}$ dan lapisan interdifusi dengan ketebalan rata-rata $33,14 \mu\text{m}$. Pada temperatur 1000°C menghasilkan lapisan *coating* dengan ketebalan rata-rata $39,34 \mu\text{m}$ dan lapisan interdifusi dengan ketebalan rata-rata $12,40 \mu\text{m}$. Sedangkan pada temperatur 900°C menghasilkan

lapisan *coating* dengan ketebalan rata-rata 80,08 μm dan tidak terdapat lapisan interdifusi.

Uji *hot corrosion* dilakukan pada sampel yang di *coating* pada temperatur 900°C, 1000°C, dan 1100°C serta sampel yang tidak di *coating* untuk mengetahui kedalaman korosi sehingga dapat dihitung laju korosinya. Kedalaman korosi pada tiap sampel diukur dengan menggunakan *software AnalySIS* yang terdapat pada set peralatan mikroskop optik di Laboratorium Pengujian dan Karakterisasi Metalurgi, Program Studi Teknik Metalurgi, FTTM-ITB.



Gambar 4. Foto struktur mikro lapisan *coating* pada berbagai temperatur *pack aluminizing*. (a) 1100°C, (b) 1000°C dan (c) 900°C



Gambar 5. Foto struktur mikro hasil pengujian *hot corrosion* selama 10 jam: (a) pada sampel *pack aluminizing* 1100°C, (b) pada sampel *pack aluminizing* 1000°C, (c) pada sampel *pack aluminizing* 900°C, (d) pada sampel yang tidak di-coating.

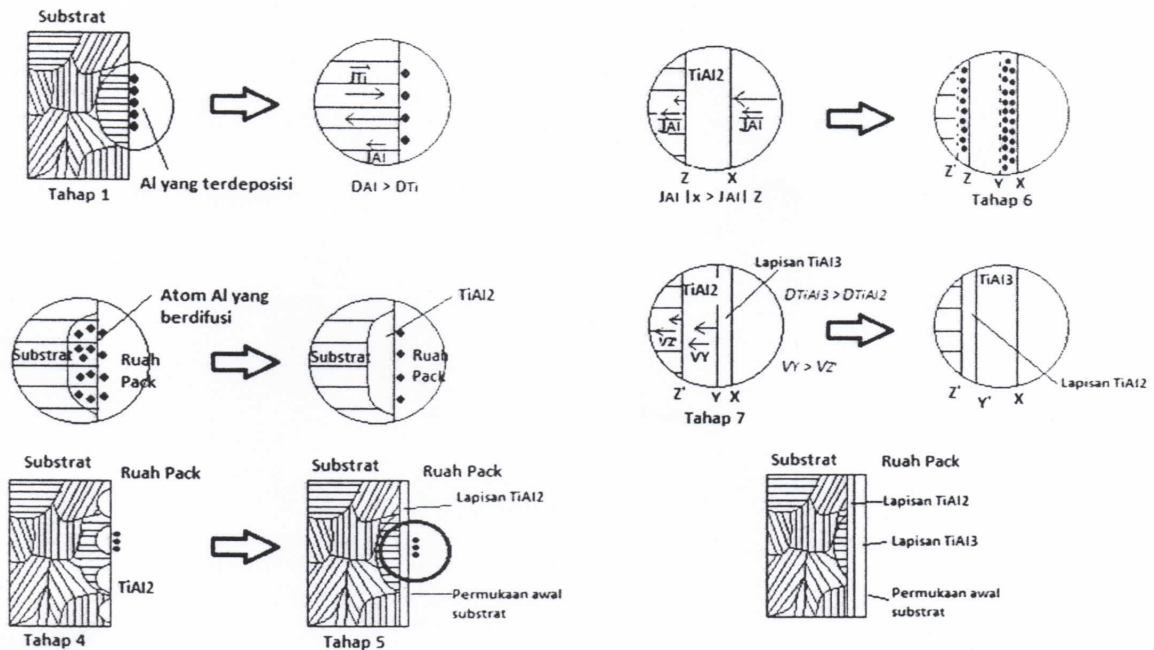
V. PEMBAHASAN

Mekanisme Pembentukan Coating

Mekanisme pembentukan *coating* pada substrat dapat dijelaskan secara skematik pada **Gambar 6**. Pada tahap pertama atom – atom aluminum yang dibawa Al-halida mengendap pada permukaan substrat. Aluminum yang terendapkan kemudian akan berdifusi ke dalam substrat (tahap 2). Kandungan Al pada daerah yang dekat dengan permukaan akan meningkat dan membentuk fasa TiAl₂ (tahap 3). Seiring berjalannya waktu, jumlah fasa TiAl₂ akan meningkat (tahap 4). Perpaduan fasa TiAl₂ akan menghasilkan lapisan – lapisan TiAl₂ secara kontinu (tahap 5).

Fluksi atom Al yang berdifusi dari TiAl₂ ke substrat melewati daerah antarmuka TiAl₂ menyebabkan kandungan Al di daerah yang dekat dengan permukaan TiAl₂ meningkat (tahap 6). Saat kandungan Al pada daerah ini mencapai komposisi pembentukan fasa TiAl₃, fasa intermetalik TiAl₃ mulai terbentuk (tahap 7). Karena koefisien difusivitas TiAl₃

(\bar{D}_{TiAl_3}) lebih tinggi daripada koefisien difusivitas $TiAl_2$ (\bar{D}_{TiAl_2}), maka pergerakan antarmuka fasa $TiAl_3 - TiAl_2$ lebih cepat daripada pergerakan antarmuka $TiAl_2 -$ substrat. Hal ini menyebabkan lapisan $TiAl_3$ lebih tebal dibandingkan lapisan $TiAl_2$ yang terbentuk.



Gambar 6. Model skematik mekanisme pembentukan coating pada paduan intermetalik TiAl

IV.2 Sifat Lapisan Coating yang Terbentuk

Foto struktur mikro pada Gambar 4(a) dan hasil pengukuran ketebalan menunjukkan bahwa lapisan coating yang terbentuk untuk pack aluminizing pada temperatur 1100°C paling tipis bila dibandingkan dengan proses pack aluminizing pada temperatur lainnya, selain itu lapisan coating $TiAl_3$ yang terbentuk juga bersifat getas, mudah rontok, dan terdapat retakan-retakan.

Temperatur proses pack aluminizing yang terlalu tinggi dan waktu proses pack aluminizing yang lama dipercaya menjadi penyebab lapisan coating yang terbentuk menjadi retak-retak. Pada temperatur proses yang tinggi atom – atom Al berdifusi dengan cepat sehingga dalam waktu singkat serbuk Al sebagai bahan pelapis yang ada dalam retort akan mengendap seluruhnya. Namun, akibat waktu proses yang lama, serbuk Al yang telah mengendap pada substrat dan telah membentuk lapisan coating akan bereaksi kembali membentuk uap halida dan berdifusi keluar dari substrat. Akibatnya, ketebalan lapisan coating menjadi berkurang dan muncul pit-pit yang tumbuh menjadi retakan.

Gambar 4(b) menunjukkan foto struktur mikro lapisan *coating* yang terbentuk untuk *pack aluminizing* pada temperatur 1000°C. Data penambahan berat menunjukkan bahwa proses *pack aluminizing* pada temperatur ini mempunyai nilai rata-rata penambahan berat yang paling tinggi. Namun, pada gambar 4(b) terlihat bahwa walaupun nilai rata-rata penambahan beratnya paling tinggi, ketebalan lapisan *coating* yang terbentuk tidak berbeda jauh dengan ketebalan *coating* untuk proses *pack aluminizing* pada temperatur 1100°C. Hal ini karena sampel yang digunakan untuk pengukuran ketebalan untuk *pack aluminizing* pada temperatur 1000°C merupakan sampel dengan penambahan berat terkecil. Data perubahan berat juga menunjukkan bahwa nilai penambahan berat dari setiap sampel untuk temperatur proses 1000°C berbeda dan kurang merata sehingga ketebalan lapisan *coating*-nya pun dapat diperkirakan lebih tebal untuk sampel yang lainnya.

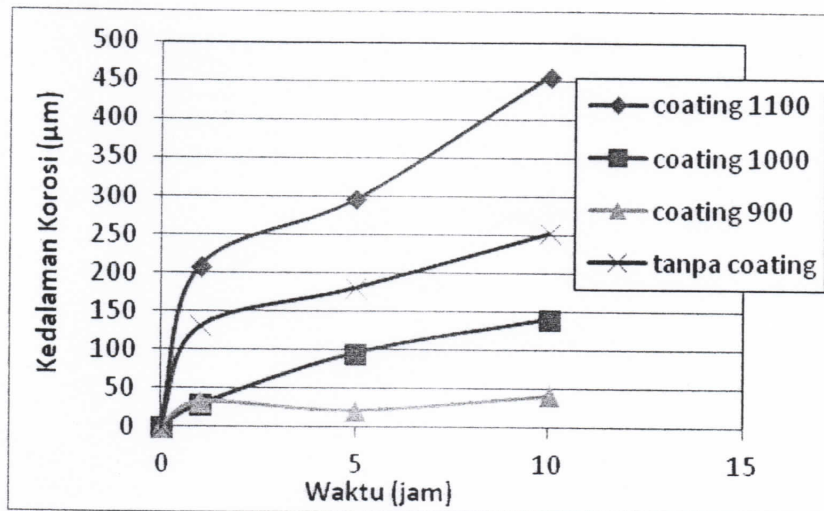
Gambar 4(c) memperlihatkan lapisan *coating* yang terbentuk satu lapis dengan ketebalan yang cukup baik dan merata. Pada proses ini tidak terbentuk / terbentuk sangat tipis zona interdifusi sehingga seluruh lapisan *coating* terbentuk dari fasa $TiAl_3$. Data perubahan berat menunjukkan penambahan berat yang cukup baik dan hampir merata untuk semua sampel sehingga dapat diasumsikan bahwa ketebalan lapisan *coating* untuk sampel lainnya memiliki ukuran yang tidak jauh berbeda.

IV.3 Analisis Laju Korosi

Di antara ketiga temperatur proses *pack aluminizing* yang dilakukan, *pack aluminizing* pada temperatur 900°C menghasilkan lapisan *coating* yang paling efektif melindungi substrat karena memiliki laju korosi yang paling rendah diikuti dengan *pack aluminizing* pada temperatur 1000°C dengan laju korosi yang sedikit lebih tinggi tetapi terus menurun terhadap waktu. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa *pack aluminizing* dengan temperatur rendah menghasilkan laju korosi yang juga rendah. Hal ini sesuai dengan data ketebalan lapisan *coating* dimana lapisan *coating* yang paling tebal dan merata juga dihasilkan oleh *pack aluminizing* dengan temperatur rendah. Dapat disimpulkan juga bahwa lapisan *coating* $TiAl_3$ efektif dalam melindungi substrat dari *hot corrosion*.

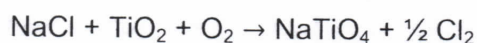
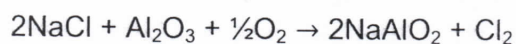
Terdapat penyimpangan pada grafik pada **Gambar 7** dimana sampel yang di *coating* pada temperatur 1100°C mempunyai laju korosi yang justru lebih tinggi daripada sampel yang tidak di-*coating* sama sekali. Penyebab terjadinya fenomena ini, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, adalah akibat waktu proses *pack aluminizing* yang terlalu lama sehingga serbuk Al sebagai bahan pelapis telah habis sedangkan masih

terdapat aktivator di dalam pack, akibatnya Al yang telah mengendap pada permukaan substrat akan berdifusi kembali keluar substrat akibat adanya gradien aktivitas. Hal ini menyebabkan timbulnya retakan-retakan pada lapisan *coating* seperti ditunjukkan pada **Gambar 4(a)**. Retakan – retakan pada lapisan *coating* cenderung membentuk *pitting-pitting* yang dapat mempercepat laju korosi dan memicu kerusakan yang lebih parah pada substrat dibandingkan dengan spesimen yang tidak di-*coating* tetapi memiliki struktur permukaan yang rata.

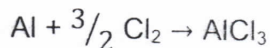
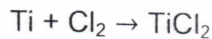


Gambar 7. Hubungan kedalaman korosi (μm) setelah uji *hot corrosion* selama 1, 5, dan 10 jam pada berbagai temperatur *coating*

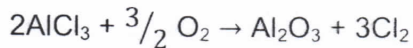
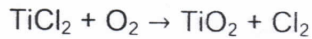
Gambar 8(a) dan **8(b)** menunjukkan inisiasi *pitting* pada sampel hasil uji hot corrosion selama 1 jam. Hasil analisis EDS menunjukkan bahwa terbentuk oksida Al_2O_3 sebesar 72,49%, oksida TiO_2 sebesar 25,77%, dan oksida Cr_2O_3 sebesar 1,74%. Terlihat bahwa campuran oksida yang terdiri dari TiO_2 dan Al_2O_3 yang menjorok kedalam membentuk *pitting*. Terbentuknya *pitting* ini diakibatkan kehadiran NaCl yang secara signifikan mempercepat laju korosi dari paduan TiAl. Secara umum, Al_2O_3 dan TiO_2 segera terbentuk pada permulaan korosi. Namun, dalam lelehan garam $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$ ada kemungkinan TiO_2 dan Al_2O_3 bereaksi dengan NaCl dengan reaksi berikut[6-8] :



Gas Cl_2 yang dihasilkan mampu menembus kerak oksida dengan cepat melewati pori dan retakan. Gas Cl_2 dapat bereaksi dengan Ti dan Al pada paduan akan membentuk uap klorida:



Uap klorida dapat berdifusi keluar melewati retakan dan pori menuju permukaan luar paduan. Pada permukaan lapisan, dimana oksigen potensial tinggi, klorida akan teroksidasi kembali menurut reaksi berikut:



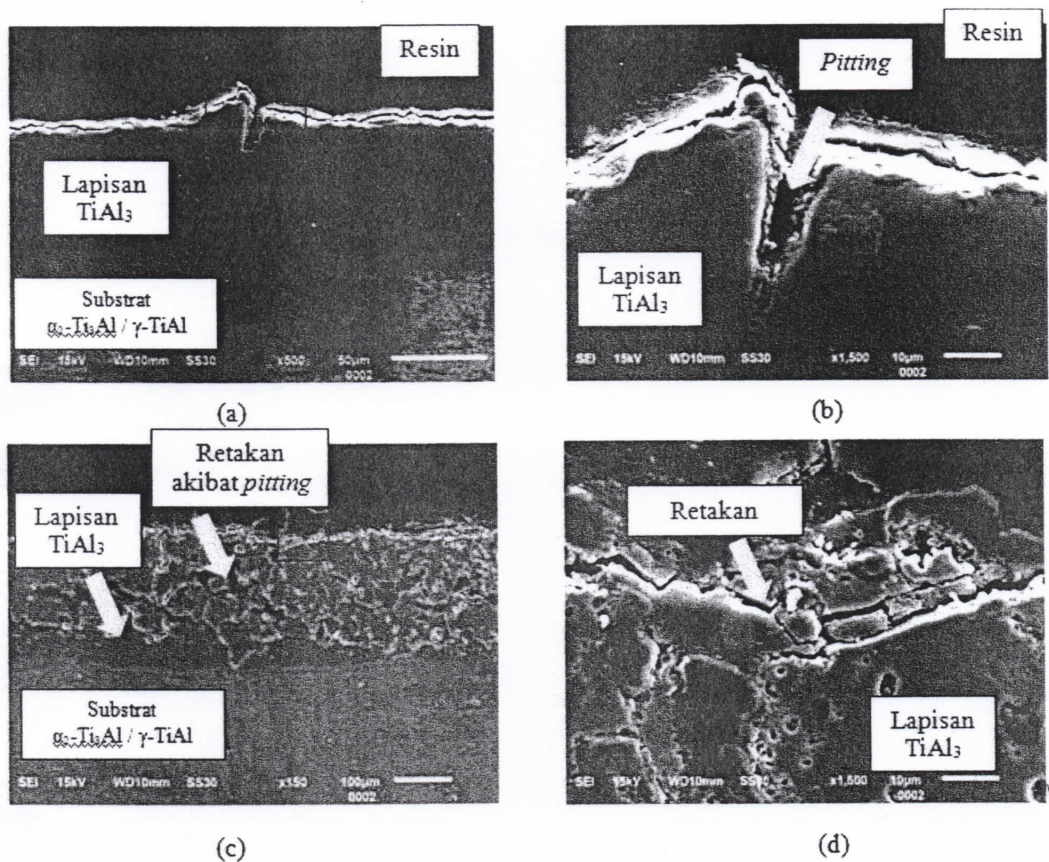
Gas Cl_2 yang terbentuk akan terdifusi kembali ke permukaan paduan. Pada permukaan oksida-paduan, sejumlah besar Al dan Ti terkonsumsi selama proses terjadi hingga suatu saat akan terbentuk *pit*. Karena oksigen potensial di dasar *pit* lebih rendah daripada diluar *pit*, uap klorida terbentuk dan berdifusi keluar menyebabkan perambatan *pit* sehingga permukaan paduan menjadi tidak seragam. Berdasarkan mekanisme ini, proses korosi dapat terjadi dengan sedikit saja kehadiran fasa klorida dengan klorida disini berperan sebagai katalis^[7,8]. Mekanisme ini didukung oleh foto SEM pada sampel setelah pengujian *hot corrosion* selama 10 jam pada **Gambar 8(c)** dimana terlihat banyak retakan yang terbentuk dalam lapisan *coating* akibat dari perambatan *pit*.

Mekanisme ini juga menjelaskan penyebab sampel *pack aluminizing* pada temperatur 1100°C mengalami kerusakan yang parah, seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa lapisan *coating* TiAl_3 yang terbentuk bersifat getas dan terdapat banyak retakan, retakan ini mempermudah *pitting* untuk merambat sehingga mempercepat laju korosi.

Gambar 8(c) dan **Gambar 8(d)** menunjukkan foto hasil SEM untuk sampel hasil pengujian *hot corrosion* selama 10 jam untuk proses *pack aluminizing* pada temperatur 1000°C dengan perbesaran masing-masing 150x dan 1500x. Oksida yang terbentuk cukup tebal dan masuk cukup dalam kedalam lapisan *coating*, analisis EDS pada bagian paling luar lapisan *coating* (spot 1) menunjukkan oksida yang terbentuk didominasi oleh Al_2O_3 sebesar 72,21%, diikuti dengan TiO_2 sebesar 22,55%, dan Cr_2O_3 dan MoO_3 masing-masing sebesar 0,44% dan 1,09% serta terdapat juga SO_3 sebesar 3,71%. Sedangkan analisis EDS pada bagian dalam lapisan *coating* (spot 2) menunjukkan oksida yang terbentuk juga didominasi oleh Al_2O_3 sebesar 54,13% diikuti dengan oksida TiO_2 sebesar 44,48% dan Cr_2O_3 sebesar 1,40%. Tidak ditemukan sulfida pada semua sampel paduan tetapi ditemukan sisa sulfur yang bereaksi membentuk oksida SO_3 , artinya proses sulfidasi yang terjadi sangat sedikit dan tidak dominan. Hal ini terjadi karena pengujian *hot corrosion* dilakukan pada lingkungan yang oksidatif sehingga kerak oksida akan segera

terbentuk dikarenakan aktivitas oksigen yang tinggi. Jika lingkungan bersifat reduktif (potensial oksigen rendah), reaksi korosi yang terjadi adalah kompetisi antara oksidasi dan sulfidasi sehingga aktivitas oksigen yang lebih rendah cenderung membuat lingkungan lebih sulfida, mengakibatkan meningkatnya dominasi dari sulfidasi^[9].

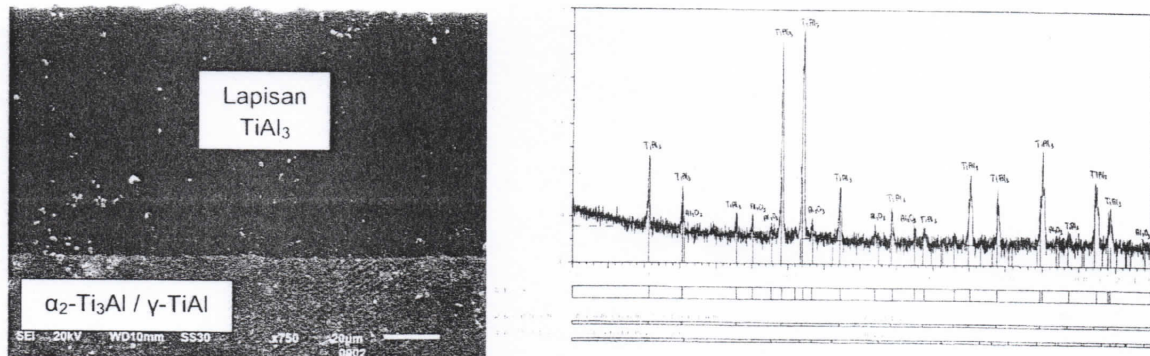
Pada **Gambar 8(d)** ditunjukkan campuran antara oksida Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 dan MoO_3 dengan oksida yang lebih dominan berdasarkan analisis EDS adalah Al_2O_3 dan TiO_2 , hal ini mengindikasikan terjadinya kompetisi antara Ti dan Al dalam pembentukan oksida.



Gambar 8. Foto SEM hasil uji *hot corrosion*: (a) dan (b) selama 1 jam pada sampel *pack aluminizing* temperatur 1000°C dengan perbesaran 150x dan 1500x, (c) dan (d) selama 10 jam pada sampel *pack aluminizing* temperatur 1000°C dengan perbesaran 150x dan 1500x

Pada **Gambar 9** ditunjukkan hasil foto SEM dan hasil analisis XRD pada sampel *as coated*, pada gambar terlihat lapisan coating yang tebal dan merata (lapisan yang gelap) yang berdasarkan analisis XRD terbentuk dari TiAl_3 . Namun, analisis EDS menunjukkan adanya oksida Al_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 dan MoO_3 yang terbentuk padahal seharusnya oksida-

oksida tersebut tidak terbentuk pada sampel *as coated*. Oksida-oksida tersebut dapat terjadi karena adanya oksigen di dalam retort saat proses *pack aluminizing*. Oksigen dapat masuk dan terjebak diantara butiran-butiran bahan pengisi *pack* saat dilakukan penimbangan karena penimbangan dilakukan di udara terbuka. Selain itu, proses penyemenan juga dilakukan di luar kotak argon karena penyemenan didalam kotak argon tidak memungkinkan untuk dilakukan.



Gambar 9. (kiri) Foto SEM dengan perbesaran 600x, (kanan) hasil analisis XRD pada sampel *pack aluminizing* temperatur 900°C

VI. KESIMPULAN

Dalam lelehan garam $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaCl}$, kerusakan korosi yang parah terjadi pada sampel yang tidak di-coating dan sampel yang di-coating pada temperatur 1100°C. Kerusakan pada sampel yang di-coating pada temperatur 1100°C terjadi akibat waktu proses *pack aluminizing* yang terlalu lama menyebabkan berkurangnya ketebalan lapisan coating karena Al yang telah mengendap kembali berdifusi ke ruah *pack*.

Pack aluminizing pada temperatur 900°C menunjukkan laju korosi yang paling rendah dalam lelehan garam diantara dua temperatur lainnya karena pembentukan lapisan TiAl_3 yang padat dan merata sehingga gas Cl_2 akan sulit untuk berdifusi melalui pori dan retakan dan mencegah *pitting* terbentuk dan tumbuh.

Kestabilan lapisan coating akan berkurang seiring bertambahnya temperatur proses *pack aluminizing* pada waktu proses yang sama. Oleh karena itu, proses *pack aluminizing* pada paduan intermetalik 2 fasa Ti-46Al-2Cr-2Mo sebaiknya dilakukan pada temperatur 900 - 1000°C untuk waktu proses 10 jam. Kehadiran fasa klorida walaupun dalam jumlah yang sedikit dapat mempercepat laju korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Thomas, M.P. Bacos, "Processing and Characterization of TiAl-based Alloys: Towards an Industrial Scale", The Journal Aerospace Lab, Issue 3, November 2011.
- [2] T. Tetsui, "Development of a New TiAl Turbocharger for High Temperature Use", Third International Workshop on γ -TiAl Technologies, Bamberg, Germany, 29-31 May 2006.
- [3] R.E. Schafrik, "Perspective on Intermetallic Commercialization for Aero-Turbine Applications", Structural Intermetallics 2001, edited by K.J. Hemker et al, TMS, pp. 13-17, 2001.
- [4] Birks, N. dan G. H Meier, "Introduction to High Temperature Oxidation of Metals", Edward Arnold (Publisher) Ltd, London 1983.
- [5] Tiroi, B., "Studi Kinetika Proses Pack Aluminizing Aktivitas Rendah pada Logam Ni dan Paduan Inconel-625 dengan Aktivator NH_4Cl ", Tugas Akhir S-1 Teknik Pertambangan ITB, 1996.
- [6] J. R. Nicholls, J. Legget, dan P. Andrews, "Material Corrosion", 1997.
- [7] T. Zhaolin, Fuhui Wang, dan Weitao Wu, "Hot Corrosion Behavior of TiAl-Base Intermetallics in Molten Salts", Oxidation of Metals, Vol. 51, Nos. 3/4, 1999.
- [8] Zhang, K., Zhengwei Li, dan Wei Gao, "Hot Corrosion Behaviour of Ti-Al Based Intermetallics", Elsevier, Material Letters 57, 2002, pp. 834 – 843.
- [9] ASM Handbook, "High Temperature Corrosion and Materials Applications", ASM International, 2007.

THE THIRD INDONESIA PROCES METALLURGY (IPM III) CONFERENCE 2012

AULA TIMUR ITB, 4-5 DESEMBER 2012

PROCEEDING

Editor

M. Zaki Mubarok
Fikri Irsyad
Monita Sari
Awidia Eswandari Juwita
M. Rizki

DIDUKUNG OLEH:

