

## Laju Penetrasi Korosi pada Material Alternatif Bangunan Kapal

Prantasi Harmi Tjahjanti<sup>1\*</sup>, Eko Panunggal<sup>2</sup>, Darminto<sup>3</sup>, Wibowo Harso Nugroho<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Perkapalan FTK Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<sup>3</sup>Program Studi Fisika MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<sup>4</sup>BPPT Lab. Hidrodinamika Indonesia UPT-BPPH Surabaya

\*Penulis korespondensi; E-mail: prantasiharmi@umsida.ac.id; prantasi@gmail.com

### ABSTRAK

Korosi adalah peristiwa kerusakan suatu material akibat interaksi yang tidak dikehendaki antara material tersebut dengan lingkungannya. Korosi merupakan gejala alamiah yang tidak mungkin dihindari, akan tetapi yang dapat dilakukan adalah mengendalikan proses korosi tersebut dengan menekan laju penetrasi korosi, sehingga diharapkan umur dan kualitas material dapat bertahan lama. Material alternatif bangunan kapal yang dipakai adalah material komposit dengan matrik paduan aluminium AlSi10Mg(b) merupakan material bangunan kapal berdasarkan European Nation (EN) Aluminum Casting (AC)-43100, dan ditulis EN AC-43100 (AlSi10Mg(b)), dan dicampur dengan penguat (reinforcement) bahan keramik, silicon karbida yang telah di-treatment dinyatakan dengan rumus kimia SiC\*. Secara keseluruhan ditulis EN AC-43100 (AlSi10Mg(b))+SiC\*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui laju ketahanan korosi pada material komposit ini. Pengujian korosi yang dilakukan adalah uji korosi basah dan korosi kering. Perlakuan uji korosi basah dengan merendam dalam cairan asam khlorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), natrium khlorida (NaCl), dan pada cairan pH = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13. Perlakuan uji kering dilakukan pada tingkat temperatur, yaitu pada suhu ~ 27°C dan 100°C. Hasil yang diperoleh bahwa perendaman dalam cairan HCl, dan pada cairan pH 1, mengalami laju penetrai korosi paling tinggi. Sedangkan laju penetrasi korosi tertinggi pada perlakuan uji korosi kering diperoleh pada suhu yang lebih tinggi dari pada suhu ruang. Secara keseluruhan terlihat bahwa penambahan penguat SiC\*, dapat mengurangi laju penetrasi korosi dan material komposit EN AC-43100 (AlSi10Mg(b))+15%SiC\* merupakan material yang baik dalam menghadapi serangan korosi, karena memiliki laju penetrasi korosi lebih rendah dari standar laju penetrai korosi yang diijinkan yaitu < 0,5 mm/yr.

**Kata kunci:** Laju penetrasi korosi, komposit, EN AC-43100 (AlSi10Mg(b))+SiC\*

### ABSTRACT

*Corrosion is the event of a material damage due to undesired interactions between material and environment. Corrosion is a natural phenomenon that cannot be avoided, but that can be done is to control the corrosion process by pressing the corrosion penetration rate, so that the expected lifespan and quality durable material. Ship building alternative material used is a composite material with aluminum alloy matrix AlSi10Mg(b) a ship building materials based on European Nation (EN) Aluminum Casting (AC)-43100, and written EN AC-43100 (AlSi10Mg(b)), and mixed with reinforcement of ceramic materials is silicon carbide treatment that has been expressed by the chemical formula SiC\*. Overall in writing EN AC-43100 (AlSi10Mg(b)) + SiC\*. The purpose of research is to determine the rate of corrosion resistance in this composite material. Corrosion testing performed is wet corrosion test and dry corrosion. Wet corrosion test is immersion in liquid hydrochloric acid (HCl), sodium hydroxide (NaOH), sodium chloride (NaCl), and the fluid pH = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13. The treatment of dry testing conducted in 2 temperature, room temperature ~27°C and 100°C temperature. The results showed that immersion in liquid HCl, and the fluid pH 1, experiencing the highest rate of corrosion penetration. While the highest corrosion penetration rate in the treatment of dry corrosion test was obtained at temperatures higher than room temperature. Overall it appears that the addition of SiC\*, can reduce the rate of penetration of corrosion and composite materials EN AC-43100 (AlSi10Mg(b)) +15 SiC\* is a good material in the face of corrosion attack, because it has the corrosion penetration rate is lower than the standard that allowable is <0.5 mm / yr.*

**Keywords:** Corrosion Penetration Rate (CPR), Composite, EN AC-43100 (AlSi10Mg(B))+SiC\*

## PENDAHULUAN

Material komposit EN AC-43100 (AlSi10Mg(b) + SiC\*) adalah material komposit dengan matrik paduan Aluminum Casting (AC)-43100, komposisi silikon 10% + magnesium, dan merupakan material bangunan kapal paduan aluminum cor (*aluminum casting alloy*) sesuai dengan aturan DIN EN 1706. Sedangkan penguat (*reinforcement*) adalah bahan keramik silikon karbida (SiC) yang telah di-*treatment* dengan dipanaskan lebih dulu pada suhu 1100 °C dan didinginkan perlahan-lahan selama 4 jam, selanjutnya diberi symbol SiC\* [1]. Material ini tergolong dalam material komposit berbasis logam (*Metal Matrix Composite/MMC*) dengan keunggulan antara lain memiliki kekakuan yang tinggi (*high stiffness*), unggul dalam temperatur ruang dan kuat pada temperatur tinggi, ketahanan ausnya tinggi (*high wear resistance*), koefisien muai panasnya rendah [2, 3] dan memperbaiki kekuatan luluh serta kekuatan retak pada bahan. Logam aluminium /aluminium alloy (Al/Al alloy) dengan penguat SiC merupakan bahan terpenting dalam kelompok MMC, karena mudah dibuat dan rendah biaya produksinya, banyak diaplikasikan untuk industri otomotif dan *aerospace* [4,5,6] juga dipakai untuk aplikasi pengemasan elektronik dan peralatan-peralatan yang berhubungan dengan panas [7].

Mengingat kegunaan bahan komposit berbasis logam ini sangat banyak maka perlu adanya proteksi diri bila terjadi korosi pada material ini. Beberapa penelitian mengenai korosi telah dilakukan, yaitu terjadi kerugian akibat korosi mencapai 2% dari nilai barang logam yang terpakai [8]. Selanjutnya diprediksi bahwa sekitar 1/3 bagian jumlah produksi logam pertahun rusak akibat korosi [9]. Cara penanggulangan korosi bermacam-macam sesuai dengan jenis korosinya, mekanisme terjadinya serta tingkat kerusakan yang ditimbulkannya. Cara penanggulangannya yang bersifat pencegahan (*preventif*) akan lebih baik daripada usaha setelah korosi terjadi. Karena itu dalam penelitian ini dilakukan uji korosi pada material komposit EN AC-43100 (AlSi10Mg(b) + SiC\*) yaitu dilakukan pengujian korosi dengan memakai uji korosi basah dan uji korosi kering.

Penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi dunia ilmu dan teknologi bahan khususnya dalam rangka pengembangan bahan-bahan baru yang bernilai ekonomis, efektif dan efisien dalam era pasar bebas ini. Selain itu penelitian ini juga banyak melibatkan disiplin-disiplin ilmu lainnya selain teknik mesin juga disiplin ilmu lainnya seperti kimia serta teknik-teknik lainnya yang berkecimpung di dalam rekayasa bahan lainnya. Lebih jauh proses penelitian sampai dengan hasilnya dapat digunakan untuk pengembangan kelembagaan antar perguruan tinggi dengan lembaga industri.

## METODE PENELITIAN

Komposisi material komposit yang dibuat adalah menggunakan matrik AC-43100 (AlSi10Mg(b)) dengan penguat SiC\* bervariasi 5%, 10%, 15%. Sampel uji korosi dibuat dalam bentuk kubus dengan ukuran (1x1x1) cm<sup>3</sup>. Masing-masing dinyatakan dengan sampel 1 tanpa SiC\*, sampel 2 (SiC\*5%), sampel 3 (SiC\*10%) dan sampel 4 (SiC\*15%).

### Uji Korosi Basah

#### Pengaruh Waktu

Sebelum di uji korosi, bahan komposit ditimbang massanya ( $m_0$ ). Setelah itu diuji korosinya dengan direndam masing-masing di dalam larutan asam HCl, larutan basah NaOH dan larutan garam NaCl, dengan konsentrasi masing-masing 0,1 Molar, dalam waktu perendaman selama 6 jam dengan interval waktu tiap 2 jam. Setelah 2 jam, sampel diangkat dan dibersihkan dengan cara merendamnya ke dalam campuran larutan HCl (1000 ml), 50 gram SnCl<sub>2</sub> dan 20 gram Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> selama 15 menit. Setelah itu sampel di cuci kembali dengan menggunakan alkohol 70% dan dikeringkan, kemudian ditimbang beratnya ( $m$ ) untuk memperoleh produk korosi/kehilangan berat selama pengujian dinyatakan dengan  $W = m_0 - m$ .

#### Pengaruh pH Larutan

Sampel direndam selama 2 jam dalam larutan dengan pH =1, 3, 5, 7, 9, 11, 13. Untuk pH 1, 3, 5 dibuat dari larutan HCl pekat yang diencerkan masing-masing menjadi 0,1 M, 0,001 M dan 0,00001 M. Sedangkan pH = 7 dibuat dengan cara menimbang 5,85 gram NaCl, kemudian dilarutkan hingga volume mencapai 1000 ml. Kemudian untuk pH = 9, 11 dan 13 dengan cara menimbang 40 gram NaOH kemudian dilarutkan dalam 1000 ml aquades, masing-masing diencerkan 10 kali, 100 kali dan 1000 kali. Setelah 2 jam, sampel diangkat dan dibersihkan dengan perlakuan seperti pada uji korosi basah pengaruh waktu.

### Uji Korosi Kering

#### Suhu 100°C

Sampel dimasukkan ke dalam *furnace* tungku selama 96 jam dengan interval waktu tiap 24 jam. Pengangkatan dan pembersihan sampel, perlakuannya seperti pada uji korosi basah pengaruh waktu.

#### Suhu ~27°C

Sampel diletakkan di udara terbuka selama 96 jam dengan interval waktu tiap 24 jam. Pengangkatan dan pembersihan sampel, perlakuannya seperti pada uji korosi basah. Metode yang digunakan dalam pengukuran laju penetrasi korosi ini adalah meng-

gunakan metode kehilangan berat. Metode ini digunakan sebagai ukuran ketahanan korosi, dan dapat dihitung dari Persamaan 1 [10].

$$CPR = \frac{KW}{ADT} \tag{1}$$

Keterangan:

CPR = Laju penetrasi korosi (*mil per year* (mpy) atau *millimeter per year* (mm/yr))

W = Berat yang hilang (mg)

K = Konstanta.  $K = 534 \text{ mm/yr}$  (dengan satuan  $A = \text{cm}^2$ )

D = Berat jenis ( $\text{gr/cm}^3$ )

T = Waktu (jam)

Bila nilai CPR kurang dari 20 mpy atau 0,5 mm/yr, maka nilai tersebut masih dapat diterima.

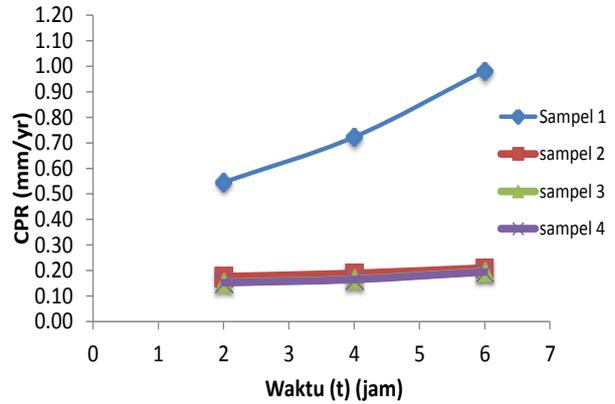
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil laju korosi saat direndam dalam larutan HCl 0,1 M, HCl 0,1 M dan NaOH 0,1, dan grafik laju penetrasi korosi terhadap komposisi SiC\* masing-masing ditunjukkan dalam Gambar 1, 2, dan 3.

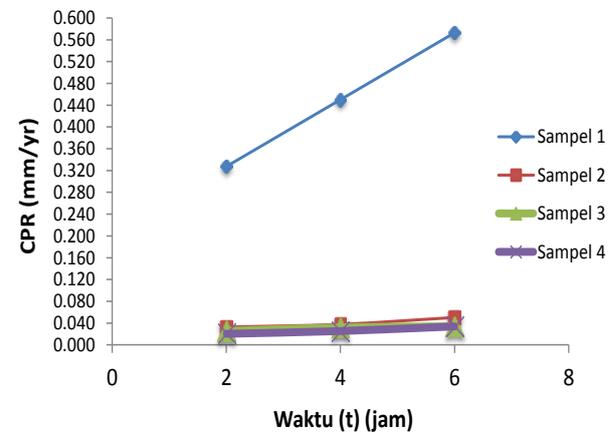
#### Hasil Uji Korosi Basah (NaOH, HCl, NaOH)

Perendaman sampel 1 (AC-43100 (AlSi10Mg(b)) maupun ketiga sampel lainnya (AC-43100 (AlSi10Mg(b)) + SiC\*) dalam larutan asam (HCl), mengalami laju korosi paling tinggi, dibanding kandi rendam dalam larutan NaOH dan NaCl. Sebenarnya, pada dasarnya AC-43100 (paduan aluminium *casting*) merupakan jenis logam yang akan membentuk lapisan pelindung  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada permukaannya dalam lingkungan oksidasi. Lingkungan oksidasi adalah lingkungan yang dapat melepaskan/mengurangi elektron, dan dapat menaikkan tingkat oksidasi. Lapisan pelindung  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sangat baik, karena dapat membuat rapat arus (arus/luas, satuan Ampere/meter<sup>2</sup>) mendekati nilai nol. Namun pada saat AC-43100 direndam dalam larutan HCl, maka sampel-sampel tersebut akan mudah terkikis, karena HCl tidak memiliki oksigen. Tidak adanya oksigen dalam HCl akan menyebabkan terjadi reaksi pada sisi katoda sel galvanik, sehingga membentuk pasangan sel galvanik. Pembentukan pasangan sel galvanik dalam struktur mikro ini yang menyebabkan sampel sangat cepat terkorosi, sehingga laju korosi saat sampel direndam dalam HCl, sangat cepat. Nilai laju korosi tercepat saat perendaman selama 6 jam adalah pada sampel 1 yaitu sampel tanpa penambahan SiC\* (CPR = 0,98 mm/yr.). Nilai CPR tersebut berbahaya karena melebihi batas maksimum CPR yang diijinkan (0,5mm/yr). Sedangkan AC-43100 yang diperkuat dengan SiC\*, mengalami laju korosi yang lambat.

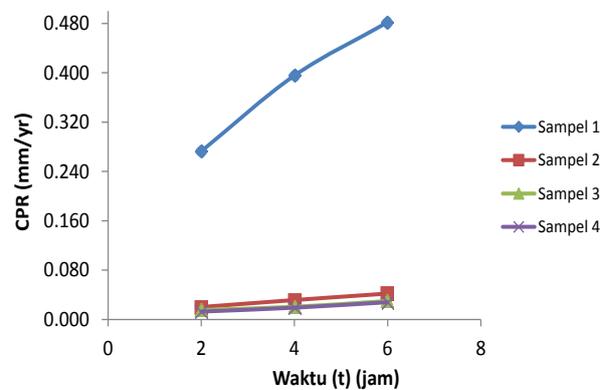
Penambahan SiC\* terbanyak (15%) yaitu sampel 4 mencapai nilai CPR sebesar 0,19 mm/yr untuk waktu perendaman 6 jam. Penamhan SiC\* ini sangat efektif untuk mencegah korosi yang terjadi pada material AC-43100.



Gambar 1. Hubungan antara CPR HCl dan Waktu Korosi



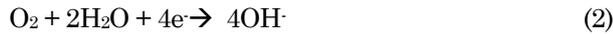
Gambar 2. Hubungan antara CPR NaCl dan Waktu Korosi



Gambar 3. Hubungan antara CPR NaOH dan Waktu Korosi

Sementara perendaman sampel dalam larutan garam (NaCl) dan basa (NaOH), juga dapat mengurangi laju korosi, namun tidak secepat yang terjadi

saat perendaman dalam larutan asam. Pada kondisi basa akan terjadi reaksi reduksi oksigen/basa sebagai berikut:



Selanjutnya ion  $\text{OH}^-$  dari basa akan dioksidasi menjadi gas oksigen ( $\text{O}_2$ ), bentuk reaksinya:

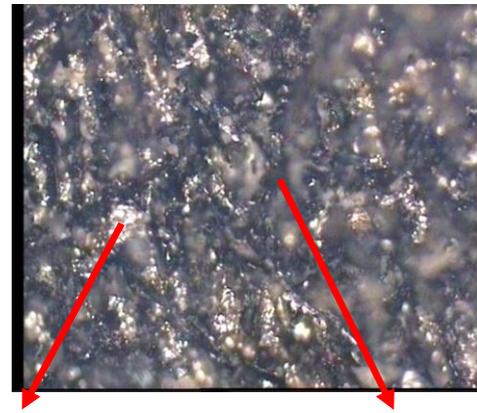


Terbentuknya gas oksigen, menyebabkan perlambatan dalam proses korosi pada lingkungan basa. Nilai laju korosi untuk sampel 4 saat direndam dalam larutan  $\text{NaOH}$  mencapai 0,028 mm/yr, dengan waktu perendaman selama 6 jam. Sedangkan perendaman dalam larutan garam ( $\text{NaCl}$ ), yang terdapat ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dimana ion  $\text{Cl}^-$  bereaksi dengan aluminium yang memudahkan oksigen mengikat aluminium sehingga proses pengkaratan/korosi berlangsung lebih cepat dibandingkan di lingkungan basa. Nilai laju korosi untuk sampel 4 saat direndam dalam larutan  $\text{NaCl}$  mencapai 0,034 mm/yr, dengan waktu perendaman selama 6 jam. Terlihat bahwa penguat  $\text{SiC}^*$  yang ditambahkan pada material AC-43100 ( $\text{AlSi10Mg(b)}$ ) dapat memperlambat CPR baik direndam dalam larutan  $\text{HCl}$ ,  $\text{NaCl}$  dan  $\text{NaOH}$ . Laju korosi terendah terjadi pada penambahan komposisi  $\text{SiC}^*$  paling optimum yaitu pada sampel 4: (AC-43100 ( $\text{AlSi10Mg(b)}$ )+15%  $\text{SiC}^*$ ), untuk waktu perendaman 2, 4 dan 6 jam. Laju korosi tercepat untuk waktu perendaman 6 jam adalah saat sampel direndam dalam larutan  $\text{HCl}$ , kemudian  $\text{NaCl}$  dan yang terlama terkorosi adalah dalam larutan  $\text{NaOH}$ .

Pengamatan mikrostruktur (perbesaran 600 kali) hasil korosi basah ( $\text{HCl}$ ,  $\text{NaOH}$  dan  $\text{NaCl}$ ) terhadap waktu, ditampilkan dalam Gambar 4, 5 dan 6. Terlihat bahwa pada sampel 4 yang telah mengalami korosi, khususnya direndam dalam larutan  $\text{HCl}$  0,1 M, dan  $\text{NaCl}$  0,1 M, menunjukkan bahwa korosi yang terjadi menyerang matrik AC-43100 ( $\text{AlSi10Mg(b)}$ ) saja, sementara penguat  $\text{SiC}^*$  tetap bertahan. Korosi menyerang batas butirnya, dilihat dengan adanya warna putih yang bertambah banyak pada batas butir. Sementara gambar pengamatan mikroskop optik (perbesaran 600 kali), untuk sampel 1 yaitu sampel yang belum dicampur/ditambah dengan penguat  $\text{SiC}^*$  dan belum dikorosi diperlihatkan pada Gambar 7.

Hasil yang diperoleh menunjukkan dari pH 1, pH 3, pH 5, pH 7, pH 9, pH 11, dan pH 13, terlihat bahwa nilai laju korosi (CPR) paling tinggi saat sampel direndam dalam larutan pH 1, karena pH 1 merupakan larutan yang bersifat asam kuat. Peranan pH di media korosif adalah mengubah reaksi katodik. Namun demikian laju korosi akan berkurang dengan bertambahnya penguat  $\text{SiC}^*$ .

Sehingga sampel 4 mempunyai nilai laju korosi terkecil saat sampel di rendam dalam larutan pH berapapun. Secara jelas grafik laju korosi pada komposisi sampel 4 saat direndam dalam larutan pH 1 sampai dengan pH 13 terhadap waktu rendaman, ditunjukkan pada Gambar 8.



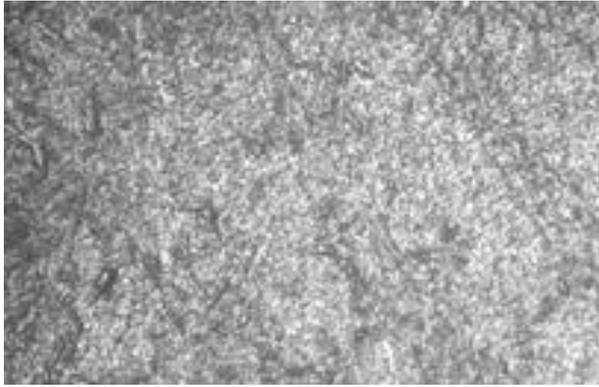
AC-43100( $\text{AlSi10Mg(b)}$ )  $\text{SiC}^*$   
Gambar 4. Sampel 4 Ssesudah Dikorosi  $\text{HCl}$  0,1M



AC-43100( $\text{AlSi10Mg(b)}$ )  $\text{SiC}^*$   
Gambar 5. Sampel 4 Sesudah Dikorosi  $\text{NaCl}$  0,1M



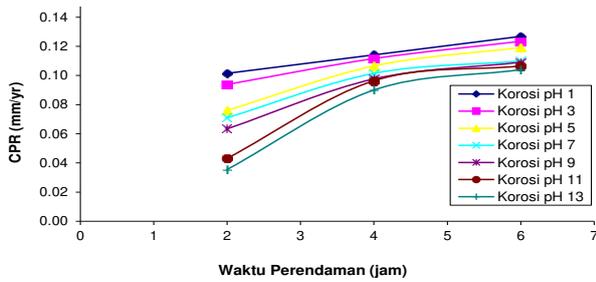
Gambar 6. Sampel 4 Sesudah Dikorosi  $\text{NaOH}$  0,1M



Gambar 7. Sampel 1 Tidak Dikorosi



Gambar 11. Sampael 4 Sesudah Dikorosi Larutan pH 13



Gambar 8. Laju Korosi Sampel 4



Gambar 9. Sampel 4 Sesudah Dikorosi Larutan pH 1



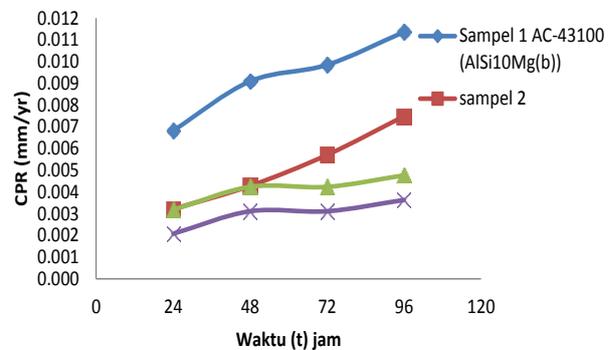
Gambar 10. Sampel 4 Sesudah Dikorosi Larutan pH 7

Mikrostruktur hasil korosi basah (yang direndam dalam pH 1, pH 7 dan pH 13) diamati dengan mikroskop optik perbesaran 600X, terlihat pada Gambar 9, 10, dan 11. Dari pengamatan gambar menunjukkan bahwa korosi pada rendaman pH 1, nampak serangan cukup tajam karena lingkungan pH 1 adalah lingkungan asam sehingga cukup kuat menyerang sampel. Sementara lingkungan pH 7, tidak begitu berpengaruh pada sampel, dan pH 13 yang bersifat basa, lingkungannya membentuk gas oksigen, sehingga menyebabkan perlambatan dalam proses korosi pada lingkungan basa tersebut.

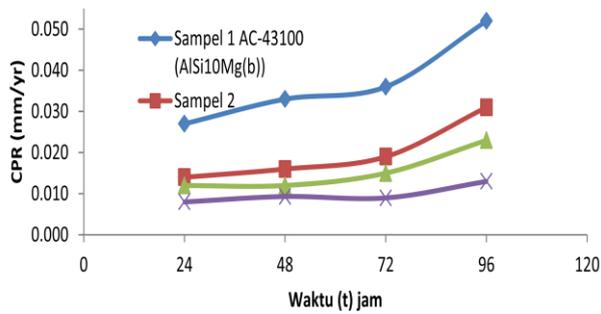
#### Hasil Uji Korosi Kering (Suhu ~ 27°C dan 100°C)

Data laju korosi untuk pengkorosian dengan memakai korosi kering suhu ~27 °C, hasil CPR gambar grafiknya ditunjukkan pada Gambar 12.

Data laju korosi untuk pengkorosian dengan memakai korosi kering suhu 100°C, hasil CPR gambar grafiknya ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 12. Laju Korosi Kering pada Suhu ~ 27 °C



Gambar 13. Laju Korosi Kering pada Suhu 100°C



Gambar 14. Sampel 4 Sesudah Dikorosi Kering pada Suhu ≈ 27°C



Gambar 15. Sampel 4 Sesudah Dikorosi Kering pada suhu 100°C

Hasil data dan grafik untuk korosi kering dengan menggunakan suhu ~27°C dan 100°C, memperlihatkan bahwa laju korosi tertinggi saat sampel di uji korosi kering dengan suhu 100°C. Pengaruh penambahan SiC\* cukup penting, karena dapat mengurangi laju korosi, sehingga sampel 4: AC-43100 (AlSi10Mg(b)) + 15% SiC\*, mempunyai nilai laju korosi terendah baik di korosi pada suhu ~27 °C maupun 100°C. Nilai laju korosinya mencapai 0,004 mm/year untuk suhu ~27°C dengan waktu korosi selama 96 jam (Sampel 1: AC-43100 (AlSi10Mg(b)) tanpa SiC\*, mencapai 0,011 mm/year, dengan waktu korosi yang sama). Sedangkan untuk korosi temperatur 100°C, sampel 4 mempunyai nilai laju korosi 0,008 mm/year dengan waktu korosi selama 96 jam (sampel 1

sebesar 0,033 mm/year, dengan waktu korosi yang sama). Nampak bahwa suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan laju korosi bertambah cepat, karena hampir semua proses/reaksi pada suhu tinggi mengakibatkan kecepataannya bertambah dan umumnya hasil reaksi juga bertambah banyak. Serangan korosi yang terjadi pada sampel merupakan reaksi udara langsung membentuk lapisan oksida. Sedangkan mikrostruktur hasil korosi kering (suhu ~ 27 °C dan 100 °C) diamati dengan mikroskop optik perbesaran 600X pada Gambar 14 dan 15.

## KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari pengujian-pengujian korosi pada material komposit AC-43100 (AlSi10Mg(b))+SiC\*, adalah: Laju penetrasi korosi tertinggi saat material di rendam dalam larutan HCl. Laju korosi akan berkurang, saat material diberi penguat SiC\*. Penambahan penguat SiC yang terbanyak dalam material komposit bermatrik aluminium (sampel 4: AC-43100 (AlSi10Mg(b)) + 15%SiC\*) merupakan material komposit yang paling tahan terhadap serangan korosi, artinya memiliki laju penetrasi korosi terendah. Perendaman dalam larutan dengan pH 1, memiliki laju penetrasi korosi (*Corrosion Penetration Rate (CPR)*) paling tinggi, karena pH 1 merupakan larutan yang bersifat asam kuat. Suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan laju korosi bertambah cepat, karena hampir semua proses/reaksi pada suhu tinggi mengakibatkan kecepataannya bertambah dan umumnya hasil reaksinya juga bertambah banyak. Secara umum, material komposit bermatrik aluminium, yaitu sampel AC-43100 (AlSi10Mg(b)) + 15%SiC\*, merupakan material terbaik dalam menghadapi serangan korosi, karena memiliki laju korosi terkecil.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan *support* dana untuk penelitian ini lewat skem dana Hibah Doktor.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjahjanti, P.H., Darminto, Eko, P., dan Nugroho W.H., *Perlakuan Khusus Cara Pencampuran Bahan Penguat Silikon Karbida dan Matrik Aluminium/Aluminium Alloy Pada Bahan Aluminium Metal Matrix Cast Composite*, Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia (UII) Jogjakarta, 2007, ISBN 978-979-96964-5-8, ISSN 0583-8697.

- [2] Moustafa, S.F., Abdel-Hamid, Z., and Abdelhay, A.M., *Mater, Lett.* 53, 2002, 244.
- [3] Luijendijk, T., Interface Studies of Aluminum Metal Matrix Composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 103, 29-35, 2000.
- [4] Rohatgi, P., Cast Aluminum-Matrix Composites for Automotive Applications”, *JOM*, 43: 10–15. 1991.
- [5] Koczak, M.J., Khatri, S.C., Allison, J.E., and Bader, M.G., *Metal Matrix Composites for Ground Vehicles, Aerospace and Industrial Applications*, In: Suresh S, Mortensen, 1993.
- [6] Howes, M.A.H., “Ceramic-Reinforced MMC Fabricated by Squeeze Casting”, *JOM*, 38: 289, 1986.
- [7] Ramesh, K.C. and Sagar, R., 1999, *International Journal Adv. Manufacture Technology*, 15, 114, 1999.
- [8] Speller, F.N., *Corrosion Causes and Prevention*, dikutip dari Djoewito, Korosi 1, Jakarta, 1979.
- [9] Kenneth, R. and Chamberlain, J., *Korosi*, alih bahasa: Alex Tri Koentjono Widodo, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1991.
- [10] Mars, G. Fontana, *Corrosion Engineering*, 3<sup>rd</sup> ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.