

---

## KETAHANAN KOROSI PADUAN Al-Mg 5052 DI DALAM AIR PENDINGIN NETRAL MENGANDUNG KLORIDA

Dicky Tri Jatmiko<sup>1</sup>, Isdiriyani Nurdin<sup>2</sup>, Hary Devianto<sup>2</sup>

Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

<sup>2</sup>ITB, Labtek X Jl. Ganesha No. 10, Bandung 40132

e-mail: dicky@batan.go.id

(Naskah diterima : 06-04-2015, Naskah direvisi: 17-04-2015, Naskah disetujui: 27-04-2015)

### ABSTRAK

**KETAHANAN KOROSI PADUAN Al-Mg 5052 DI DALAM AIR PENDINGIN NETRAL MENGANDUNG KLORIDA.** Paduan Al-Mg 5052 adalah material yang biasa digunakan untuk kelongsong elemen bakar nuklir karena serapan fluks neutronnya rendah dan tahan korosi di dalam air demineralisasi pada kondisi operasi reaktor. Makalah ini difokuskan untuk mengetahui ketahanan korosi paduan Al-Mg 5052 di dalam air dengan pH netral dan mengandung klorida sebagai pengganti air demineralisasi pendingin primer Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS). Penelitian mencakup pengukuran laju korosi menggunakan metode Tafel, prediksi mekanisme korosi menggunakan metode voltametri siklik dan analisa produk korosi dengan metode difraksi sinar X. Percobaan dilakukan dengan variasi temperatur 30°C, 35°C, 40°C, dan 45°C, serta variasi konsentrasi larutan natrium klorida 0,05 M, 0,25 M, dan 0,5 M. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa paduan Al-Mg 5052 terkorosi dengan kategori “dapat diabaikan” hingga “sedang” dalam larutan natrium klorida menjadi produk yang larut dalam air pada satu tahap reaksi oksidasi irreversible.

**Kata kunci:** paduan Al-Mg 5052, klorida, korosi, pH, temperatur, air.

### ABSTRACT

**CORROSION RESISTANCE OF Al-Mg ALLOY 5052 IN CHLORIDE CONTAINING NEUTRAL COOLING WATER.** Al-Mg alloy 5052 is a material used as nuclear fuel element cladding due to its low neutron flux absorption and high corrosion resistance in demineralized water. This research is focused to know of the corrosion resistance of Al-Mg alloy 5052 in chloride containing neutral water used as demineralized primary cooling water substitute in GA Siwabessy Multi Purpose Reactor (RSG-GAS). This research covers the corrosion rate measurement using the Tafel method, corrosion process prediction using cyclic voltammetry method and corrosion product analysis using X-Ray Diffraction method. The experiments are carried out at temperature variation of 30°C, 35°C, 40°C and 45°C, as well as sodium chloride concentration of 0.05 M, 0.25 M and 0.5 M. The research results show that Al-Mg alloy 5052 is insignificantly to moderate corroded in chloride containing water by single step irreversible oxidation reaction.

**Keywords:** Al-Mg Alloy 5052, chloride, corrosion, pH, temperature, water.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna GA Siwabessy (RSG-GAS) mempunyai sistem keselamatan berlapis untuk menghindari timbulnya

kecelakaan pengoperasian reaktor. Saat terjadi kecelakaan kehilangan air pendingin primer akibat kebocoran pada kolam reaktor maka dilakukan tindakan pencegahan dan pengisian kembali kolam reaktor. Dalam hal

kegagalan pengisian karena *booster pump* (pompa pendorong) sistem pendingin primer mengalami kerusakan, maka pengisian dilakukan dengan air biasa yaitu air dari lingkungan sekitar reaktor RSG-GAS<sup>[1]</sup>.

Air proses berupa air lingkungan diperlukan untuk penambahan pada sistem pendingin sekunder dan penyedia air untuk sistem air bebas mineral<sup>[2]</sup>. Air proses yang digunakan di reaktor RSG-GAS memiliki kandungan seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan air proses di reaktor riset nuklir<sup>[3]</sup>

No.	Uraian	Batasan
1.	Harga pH	7,0 – 7,5
2.	Konduktivitas	15 mS/m
3.	Garam terlarut total	100 mg/l
4.	Kalsium Oksida	0,6 mol/m <sup>3</sup>
5.	Klorida	0,2 mol/m <sup>3</sup>
6.	Sulfat	0,6 mol/m <sup>3</sup>
7.	Asam silikat	0,34 mol/m <sup>3</sup>

Nilai batasan tersebut berdasarkan nilai maksimum evaluasi sampel air yang diambil dari sungai Cisadane<sup>[3]</sup> di lingkungan sekitar reaktor RSG-GAS. Kualitas air proses tersebut mempunyai kandungan unsur kimia seperti klorida (Cl) yang bersifat korosif terhadap logam paduan Al-Mg 5052 sebagai kelongsong elemen bakar nuklir. Paduan Al- Mg 5052 merupakan bahan yang cocok digunakan dalam konstruksi komponen di lingkungan radiasi karena komposisi kimia dan sifat fisik yang dimiliki menunjukkan ketahanan yang baik pada kondisi tersebut. Meskipun banyak paduan aluminium menunjukkan ketahanan korosi tinggi karena adanya lapisan oksida pelindung, beberapa dari mereka rentan terhadap korosi lokal ketika dibawa ke dalam kontak dengan larutan air yang mengandung ion-ion halida, misalnya, Cl<sup>-</sup><sup>[4]</sup>. Namun, dampak lain adanya lapisan oksida pada permukaan logam menyebabkan tahanan listrik yang tinggi<sup>[5]</sup>. Penggunaan paduan Al-Mg 5052 sebagai kelongsong elemen bakar nuklir yang digunakan pada pengoperasian reaktor. Elemen bakar nuklir dimasukkan ke dalam teras reaktor dengan moderator air dan sistem pendingin primer sebagai media

pendingin selama lebih kurang 2,4 tahun atau 8 siklus operasi reaktor. Paduan seri 5000 yang mengandung magnesium menawarkan kombinasi yang baik antara kekuatan dan ketahanan terhadap korosi merata, sumuran dan *Stress Corrosion Cracking* (SCC). Paduan Al-Mg 5052 berisi sekitar 2,2-2,8% magnesium dan 0,15-0,35% kromium<sup>[6]</sup>. Kandungan magnesium menambah unsur kekuatan pada aluminium, sedangkan unsur kromium meningkatkan ketahanan korosi<sup>[7]</sup>.

Hasil penelitian tentang korosivitas air lingkungan sebagai pendingin darurat terhadap paduan Al-Mg 5052 sebagai material elemen bakar nuklir di reaktor riset nuklir sampai saat ini belum pernah dilakukan sehingga penelitian ini dibutuhkan sebagai data pendukung analisa keselamatan reaktor RSG-GAS. Penelitian ini dimaksudkan untuk menguji ketahanan paduan Al-Mg 5052 terhadap korosivitas air pendingin mengandung klorida di berbagai kondisi. Manfaat dari penelitian ini adalah diketahuinya tingkat ketahanan paduan Al-Mg 5052 terhadap korosivitas air pendingin mengandung klorida.

### Korosi

Korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia yang melibatkan perpindahan elektron. Laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: konsentrasi oksidator, laju alir fluida korosif, temperatur, dan derajat keasaman (pH)<sup>[8]</sup>. Pada keadaan aktif, perilaku korosi tersebut dapat dipelajari pada skala mikro menggunakan teknik elektrokimia<sup>[9]</sup>. Laju korosi logam makin meningkat seiring dengan penambahan oksidator. Sedangkan pada logam yang memiliki transisi aktif-pasif, pasivitas dicapai jika sejumlah tertentu oksidator ditambahkan ke dalam medium. Dalam hal ini laju korosi akan turun secara drastis kemudian konstan karena adanya pembentukan lapisan pasif. Jika oksidator yang sangat kuat ditambahkan pada logam yang telah membentuk lapisan pasif, lapisan tersebut dapat mengalami kerusakan sehingga laju korosi meningkat<sup>[10]</sup>.

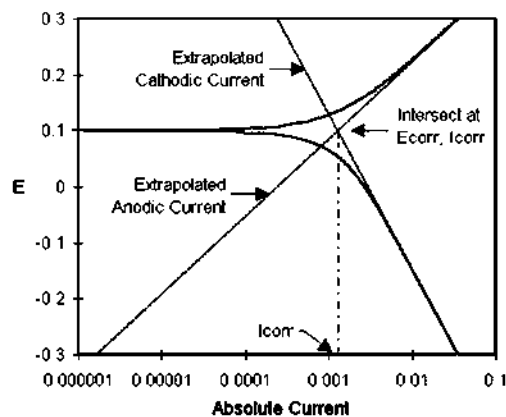
Peningkatan temperatur ke atas temperatur kamar dapat menaikkan laju korosi pada awalnya, tetapi justru akan menurunkan kelarutan oksigen. Untuk temperatur di atas 80°C, laju korosi menurun pada sistem terbuka karena oksigen terlarut dapat lepas ke atmosfer. Pada sistem tertutup, oksigen terlarut tetap tertahan di dalam cairan sehingga laju korosi makin meningkat, meskipun melebihi 80°C, seperti reaksi kimia pada umumnya.

Laju korosi ( $r$ ) dinyatakan sebagai laju massa ( $m$ ) yang bereaksi per satuan waktu ( $t$ ) dan luas permukaan ( $A$ ), dapat dijelaskan dalam persamaan:

$$r = \frac{m}{tA} = \frac{ia}{nF} \quad (1)$$

dengan  $i$  didefinisikan sebagai rapat arus, yakni  $I/A$ ,  $a$  adalah massa atom,  $n$  adalah jumlah elektron yang terlibat, dan  $F$  adalah bilangan Faraday yang bernilai 96485 coulomb/ekivalen<sup>[11]</sup>.

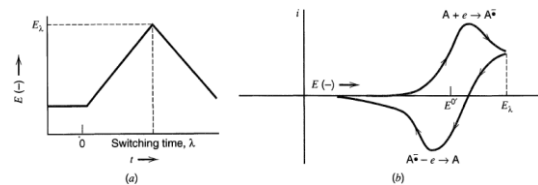
Salah satu metoda pengukuran laju korosi adalah metoda ekstrapolasi Tafel menggunakan alat potensiostat. Potensial korosi dan rapat arus korosi merupakan koordinat titik potong bagian anodik dan katodik dari kurva polarisasi, yaitu kurva hubungan antara potensial dan rapat arus seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva polarisasi Tafel<sup>[11]</sup>.

Mekanisme reaksi korosi dapat diprediksi dengan menggunakan metode *Linear Potential Sweep Chronoamperometry*, atau disebut juga *Linear Sweep Voltametry*

(LSV). Variasi potensial secara linier dan bolak-balik terhadap waktu menghasilkan respon berupa perubahan arus terhadap waktu, yang digambarkan sebagai kurva hubungan arus terhadap potensial, seperti Gambar 2.



Gambar 2. (a) Grafik perubahan potensial siklik  
(b) hasil voltamogram siklik<sup>[11]</sup>.

Voltamogram siklik memberikan informasi tentang reversibilitas reaksi, kestabilan produk korosi, dan jumlah tahap reaksi oksidasi maupun reduksi. Untuk sistem Nernstian dengan produk yang stabil, berlaku bahwa  $i_{pa}/i_{pc} \approx 1$ . Reaksi dikatakan reversibel jika  $E_{pa} - E_{pc} \approx (0,118/n)$  volt. Jumlah puncak anodik ataupun katodik menunjukkan jumlah tahap reaksi anodik ataupun katodik.

Sistem air bebas mineral didesain untuk produksi air dengan mutu air reaktor RSG-GAS sesuai Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Kualitas air reaktor riset<sup>[2]</sup>

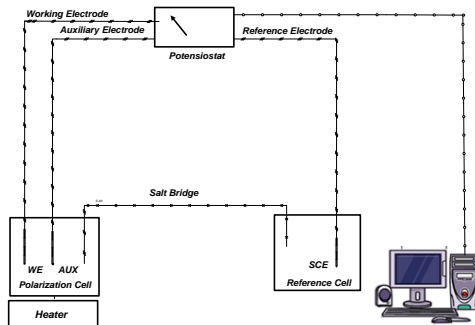
No.	Uraian	Batasan
1.	Harga pH	$6,5 < \text{pH} \leq 7,5$
2.	Konduktivitas listrik	$\leq 0,02 \text{ mS/m}$
3.	Chlorida	$2,8 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3$
4.	Sulfat	$1,1 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3$
5.	Tembaga	$1,6 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3$
6.	Aluminium	$2 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^3$

## METODOLOGI

### a. Peralatan dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air pendingin tiruan yaitu air demineralisasi yang telah dilarutkan NaCl didalamnya serta bahan kimia seperti  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , garam KCl, serbuk agar-agar dan bahan logam pelat paduan Al-Mg 5052. Alat utama yang digunakan dalam percobaan ini adalah potensiostat. Rangkaian alat untuk

mengukur laju korosi ditampilkan pada Gambar 1<sup>[15]</sup>.



Gambar 3. Skema susunan alat polarisasi.

Variasi konsentrasi larutan natrium klorida yang digunakan adalah 0,05 M, 0,25 M dan 0,5 M. Sedangkan variasi temperatur yang dilakukan adalah 30°C, 35°C, 40°C dan 45°C. Pemilihan variabel konsentrasi didasarkan pada pendekatan nilai batasan kandungan klorida di dalam kandungan air proses serta pertimbangan efisiensi pembuatan air pendingin tiruan dan kemampuan pembacaan pada peralatan pengujian. Sedangkan pemilihan variabel temperatur mengikuti kondisi air pendingin pada operasi reaktor di batasan temperatur terendah dan tertinggi.

### b. Pelaksanaan percobaan

Pada penelitian ini sebagai larutan uji digunakan larutan natrium klorida dalam berbagai konsentrasi yang diasamkan dengan asam asetat (CH<sub>3</sub>COOH) pada kondisi pH 6 dan pH 7. Spesimen paduan Al- Mg 5052 berukuran 1x1 cm<sup>2</sup> dicelupkan dalam sel korosi berisi larutan natrium klorida, dipasang sebagai elektroda kerja yang berfungsi menjadi anoda. Kawat platina dipasang sebagai elektroda bantu dan berfungsi menjadi katoda sedangkan *saturated calomel electrode* (SCE) dipasang sebagai elektroda pembanding yang terhubung dengan sel uji melalui jembatan garam berisi kiau klorida (KCl). Selanjutnya laju korosi dihitung dari rapat arus korosi yang diambil dari diagram *Tafel* yang diperoleh dengan melakukan pengukuran potensiostat

pada *scan rate* 1,70 mV/detik dan *sample period* 5 detik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rangkaian alat percobaan yang ditampilkan Gambar 3. pelat aluminium dipasang sebagai elektroda kerja (*working electrode*) dan berfungsi menjadi anoda, kawat platina sebagai elektroda bantu (*auxiliary electrode*) dan berfungsi menjadi katoda, serta *saturated calomel electrode* (SCE) sebagai elektroda pembanding (*reference electrode*) yang terhubung dengan sel uji melalui jembatan garam.

### a. Laju Korosi

Laju korosi dan potensial korosi dalam penelitian diambil dari diagram *Tafel* yang diperoleh dengan *scan rate* 1,70 mV/detik dan *sample period* 5 detik. Hasil pengukuran laju korosi paduan Al-Mg 5052 dalam larutan natrium klorida disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Laju korosi paduan Al-Mg 5052 di dalam larutan natrium klorida

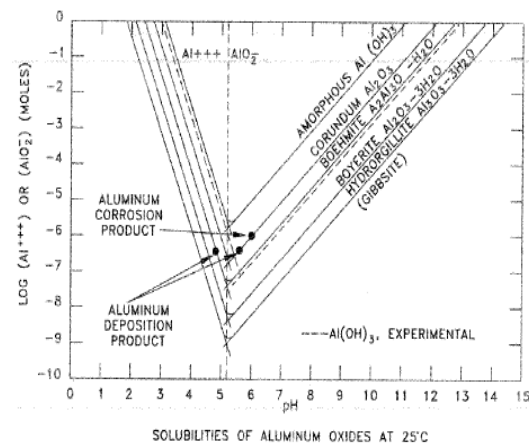
No.	Temp. (°C)	Konsentrasi NaCl (M)	Laju Korosi (mm/tahun)	
			pH 6	pH 7
1.	30	0,05	0,005	0,007
2.		0,25	0,031	0,046
3.		0,5	0,074	0,076
4.	35	0,05	0,015	0,045
5.		0,25	0,162	0,251
6.		0,5	0,320	0,475
7.	40	0,05	0,032	0,073
8.		0,25	0,343	0,409
9.		0,5	0,707	0,762
10.	45	0,05	0,057	0,102
11.		0,25	0,431	0,464
12.		0,5	0,873	0,895

Secara umum dari data yang disajikan Tabel 3. menunjukkan kenaikan laju korosi dengan peningkatan temperatur, konsentrasi larutan natrium klorida dan pH. *National Association of Corrosion Engineers* (NACE)<sup>[12]</sup> menetapkan bahwa kategori korosi dapat diabaikan jika laju korosi bernilai kurang dari 0,0508 mm/tahun (2 mpy). Korosi "ringan" dikategorikan jika lajunya kurang dari

0,508 mm/tahun (20 mpy), "sedang" jika lajunya dalam rentang 0,508-1,270 mm/tahun (20-50 mpy), dan "parah" jika lajunya lebih besar dari 1,270 mm/tahun (50 mpy). Dengan demikian laju korosi paduan Al-Mg 5052 di dalam larutan natrium klorida yang diasamkan pada percobaan ini bervariasi dari kategori korosi dapat diabaikan hingga korosi sedang.

**b. Pengaruh pH**

Hasil percobaan menunjukkan bahwa laju korosi paduan Al-Mg 5052 pada pH 7 sedikit lebih besar dibandingkan pada pH 6. Hal ini disebabkan kelarutan aluminium oksida pada pH 7 lebih besar dibandingkan pada pH 6. Hasil pengujian yang dilakukan *U.S. Department of Energy (DOE)* menunjukkan bahwa jumlah  $Al_2O_3$  yang dihasilkan dari korosi paduan Al-Mg 5052 masih lebih rendah dari batas kelarutan  $Al_2O_3$  pada pH 6 dan pH 7. Selain itu perbedaan antara jumlah  $Al_2O_3$  pada pH 7 lebih besar dibanding pH 6 sehingga menyebabkan laju korosi pada pH 7 lebih besar dibanding pH 6. Hasil penelitian DOE juga menunjukkan bahwa kelarutan produk korosi aluminium mencapai minimal pada pH ~5,5 pada temperatur 25 °C sesuai ditunjukkan pada Gambar 4.

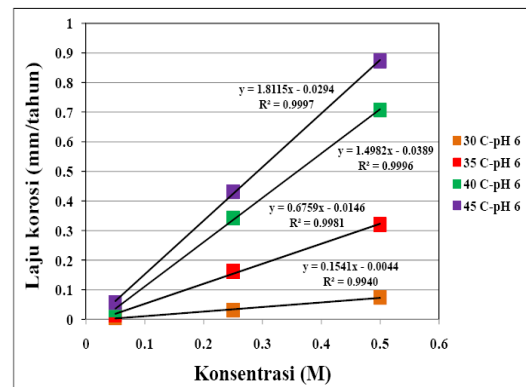


Gambar 4. Kelarutan oksida aluminium pada 25°C<sup>[13]</sup>

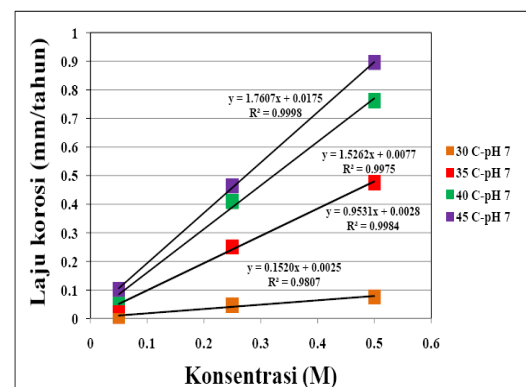
**c. Pengaruh konsentrasi natrium klorida (NaCl)**

Data pada Tabel 4. dapat dialurkan menjadi kurva hasil pengukuran laju korosi

terhadap perubahan konsentrasi natrium klorida pada temperatur bervariasi seperti ditampilkan pada Gambar 5.a. untuk pH 6 serta Gambar 5.b. untuk pH 7. Gambar 5.a. dan 5.b. menunjukkan kenaikan laju korosi pada peningkatan konsentrasi larutan natrium klorida. Hal tersebut disebabkan karena konsentrasi natrium klorida yang tinggi menyebabkan konduktivitas ionik larutan elektrolit meningkat dan menyebabkan kenaikan laju korosi.



(a)



(b)

Gambar 5. Laju korosi paduan Al-Mg 5052 terhadap konsentrasi natrium klorida pada temperatur bervariasi dan pH 6 (a), pH 7 (b).

Laju korosi yang dipengaruhi oleh konsentrasi natrium klorida  $C_{NaCl}$ , dapat dituliskan sebagai :

$$r = f(C_{NaCl}) = aC_{NaCl} + b \tag{2}$$

dengan  $r$  adalah laju korosi serta  $a$  dan  $b$  adalah konstanta. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 4 untuk pH = 6 dan Tabel 5 untuk pH = 7.

Tabel 4. Konstanta a dan b pada temperatur bervariasi dan pH = 6

Temp. (°C)	Konstanta a	Konstanta b	R <sup>2</sup>
30	0,154	0,004	0,994
35	0,676	0,015	0,998
40	1,498	0,039	0,999
45	1,811	0,029	0,999

Tabel 5. Konstanta a dan b pada temperatur bervariasi dan pH = 7

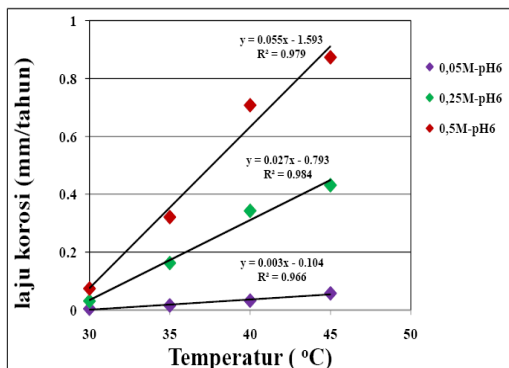
Temp. (°C)	Konstanta a	Konstanta b	R <sup>2</sup>
30	0,152	0,002	0,981
35	0,953	0,003	0,998
40	1,526	0,008	0,998
45	1,761	0,018	0,999

Dari Tabel 4 dan Tabel 5, nilai R<sup>2</sup> > 0,95 sehingga nilai yang diperoleh cukup akurat. Terlihat bahwa kenaikan temperatur mengakibatkan peningkatan nilai konstanta a. Hal ini menunjukkan peningkatan konduktivitas ionik larutan akibat kenaikan temperatur.

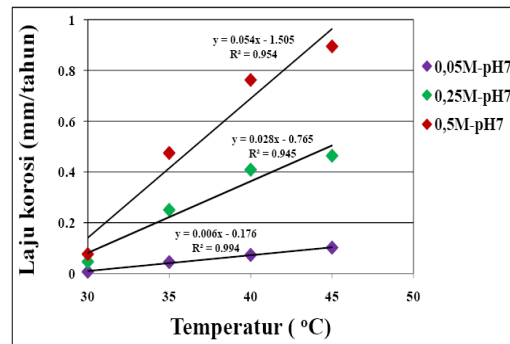
**d. Pengaruh Temperatur**

Kurva hasil pengukuran laju korosi terhadap perubahan temperatur pada berbagai konsentrasi natrium klorida ditampilkan pada Gambar 6.a. untuk pH = 6 dan Gambar 6.b. untuk pH = 7.

Gambar 6.a dan 6.b memperlihatkan bahwa kenaikan temperatur dapat meningkatkan laju korosi dan dapat dilinierkan pada berbagai konsentrasi natrium klorida.



(a)



(a)

Gambar 6. Laju korosi paduan Al-Mg 5052 terhadap temperatur pada konsentrasi natrium klorida bervariasi dan : (a) pH 6, (b) pH 7.

Pada temperatur yang lebih tinggi, reaksi korosi mendapatkan lebih banyak energi ke dalam sistem dan meningkatkan laju korosi dengan membuat frekuensi tumbukan antar partikel menjadi makin cepat. Partikel-partikel dalam larutan yang bertumbukan tersebut akan memiliki energi kinetik yang cukup besar untuk melampaui energi aktivasi sehingga tumbukan dapat melepaskan ikatan ionik partikel-partikelnya. Dengan demikian, temperatur yang makin tinggi juga akan mempermudah logam untuk melepaskan elektron yang dimilikinya. Karena reaksi korosi merupakan reaksi orde 1 dan konsentrasi reaktan pada percobaan dianggap tetap, maka konstanta laju reaksi k dengan kenaikan temperatur T dapat direpresentasikan sebagai fungsi linier terhadap temperatur. Persamaan laju korosi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$r = f(T) = cT + d \tag{3}$$

dengan r adalah laju korosi serta c dan d adalah konstanta. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 6 untuk pH = 6 dan Tabel 7 untuk pH = 7.

Tabel 6. Konstanta c and d pada berbagai konsentrasi NaCl dan pH = 6

Konsentrasi NaCl (M)	Konstanta c	Konstanta d	R <sup>2</sup>
0,05	0,003	0,104	0,966
0,25	0,027	0,793	0,984
0,5	0,055	1,593	0,979

Tabel 7. Konstanta  $c$  and  $d$  pada berbagai konsentrasi NaCl dan pH = 7

Konsentrasi NaCl (M)	Konstanta $c$	Konstanta $d$	$R^2$
0,05	0,006	0,176	0,994
0,25	0,028	0,765	0,950
0,5	0,054	1,505	0,954

dari Tabel 6 dan Tabel 7, nilai  $R^2 > 0,95$  sehingga nilai yang diperoleh cukup akurat.

#### e. Pengaruh interaksi temperatur dan konsentrasi natrium klorida.

Secara keseluruhan, Persamaan 2 dan 3 menjelaskan bahwa konsentrasi natrium klorida dan temperatur mempengaruhi laju korosi paduan Al-Mg 5052. Hasil analisis matematika dari pengaruh interaksi temperatur dan konsentrasi natrium klorida pada penelitian

ini dapat direpresentasikan dalam operasi matematika sebagai fungsi penjumlahan ataupun perkalian.

Persamaan laju korosi  $r$  dari fungsi penjumlahan dituliskan pada persamaan berikut ini :

$$r = n[f(C_{NaCl})] + m[f(T)] \quad (4)$$

dengan  $r$  dalam mm/tahun, serta  $n$  dan  $m$  adalah konstanta.

Dengan memasukkan nilai fungsi konsentrasi dan fungsi temperatur pada persamaan laju korosi, maka akan diperoleh persamaan analisis dengan menggunakan *tool solver* pada program excel, yang menghasilkan nilai konstanta  $n = 0,992$  dan  $m = 0,004$  untuk pH 6, serta konstanta  $n = 0,894$  dan  $m = 0,134$  untuk pH 7. Perbandingan data percobaan dan hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan data penelitian dan data perhitungan dari persamaan laju korosi.

No.	T (°C)	$C_{NaCl}$ (M)	Laju korosi (mm/tahun)				Ralat (%)	
			Data		Persamaan		pH = 6	pH = 7
			pH = 6	pH = 7	pH = 6	pH = 7		
1.	30	0,05	0,005	0,007	0,003	0,005	34,447	34,887
2.		0,25	0,031	0,046	0,034	0,042	9,413	9,196
3.		0,5	0,074	0,076	0,072	0,081	2,296	6,694
4.	35	0,05	0,015	0,045	0,019	0,045	26,938	0,800
5.		0,25	0,162	0,251	0,154	0,239	5,080	4,687
6.		0,5	0,320	0,475	0,322	0,475	0,670	0,011
7.	40	0,05	0,032	0,073	0,036	0,070	11,821	4,264
8.		0,25	0,343	0,409	0,334	0,382	2,582	6,687
9.		0,5	0,707	0,762	0,707	0,763	0,001	0,107
10.	45	0,05	0,057	0,102	0,061	0,076	6,677	25,858
11.		0,25	0,431	0,464	0,422	0,444	2,126	4,303
12.		0,5	0,873	0,895	0,873	0,895	0,000	0,000

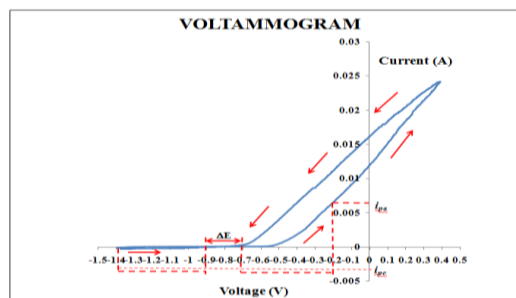
Tabel 8 menunjukkan bahwa perhitungan laju korosi menggunakan persamaan empirik tidak terlalu berbeda dibandingkan dengan data penelitian. Meskipun model persamaan empirik menghasilkan nilai kesalahan yang cukup besar pada konsentrasi NaCl rendah namun kesalahan tersebut masih dapat ditoleransi karena nilai laju korosi yang dihasilkan masih dalam batasan kategori yang sama dengan data percobaan.

NACE menetapkan bahwa kategori korosi pada logam dapat diabaikan jika laju korosi bernilai kurang dari 0,0508 mm/tahun. Dengan menggunakan persamaan (4) dan memasukkan nilai fungsi konsentrasi dan fungsi temperatur pada persamaan laju korosi, dengan menggunakan *tool solver* pada program excel pada nilai konstanta  $n$  dan  $m$  untuk pH 6 dan pH 7, paduan Al-Mg 5052 memiliki laju korosi 0,0508 mm/tahun di dalam larutan NaCl 0,0448 M pada temperatur 45 °C.

#### f. Mekanisme korosi

Metode voltametri siklik digunakan untuk memperoleh informasi mengenai reversibilitas reaksi, kestabilan produk korosi, dan jumlah tahap reaksi oksidasi maupun reduksi<sup>[14]</sup>. Pada reaksi korosi paduan Al-Mg 5052 dalam larutan natrium klorida, reaksi dianggap reversibel jika  $E_{pa} - E_{pc} \leq 0,118/n \approx 0,039$  volt. Kestabilan produk korosi diketahui dari rasio antara arus puncak anodik  $i_{pa}$  dengan arus puncak katodik  $i_{pc}$ . Produk korosi yang terbentuk bersifat stabil jika nilai  $i_{pa}/i_{pc} \approx 1$ . Selain itu, jumlah tahap reaksi diketahui dari jumlah puncak anodik maupun katodik. Dalam percobaan yang dilakukan, rentang potensial kerja yang digunakan tidak mencapai puncak kurva anodik maupun kurva katodik. Oleh karena itu, pendekatan dilakukan untuk mendapatkan rasio arus puncak dan jarak antara potensial puncak yang dapat mewakili parameter tersebut. Potensial puncak diamati dengan mengukur titik awal saat kedua kurva naik. Selisih potensial antara titik awal saat kedua kurva

naik dianggap sudah mewakili jarak kedua potensial puncak tersebut. Rasio arus puncak didekati dengan besar arus yang dihasilkan pada jarak potensial yang sama dari titik saat masing-masing kurva mulai naik. Tipikal voltamogram korosi paduan Al- Mg 5052 dalam larutan natrium klorida 0,05 M pada temperatur 30°C dan pH = 7 ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Voltamogram korosi paduan Al- Mg 5052.

Hasil penelitian terhadap mekanisme korosi paduan Al-Mg 5052 dalam larutan natrium klorida disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil pengukuran  $E_{pa}-E_{pc}$  dan  $i_{pa}/i_{pc}$  dari voltametri siklik.

No.	T (°C)	$C_{NaCl}$ (M)	$\Delta E$ (Volt)		$i_{pa}/i_{pc}$	
			pH = 6	pH = 7	pH = 6	pH = 7
1.	30	0,05	0,1149	0,2149	1,3276	4,7945
2.	45	0,5	0,1199	0,2296	1,9405	4,9091

Tabel 9 menunjukkan bahwa semua nilai  $\Delta E > 0,039$  volt, sehingga reaksi oksidasi paduan Al-Mg 5052 oleh larutan natrium klorida merupakan reaksi searah (*irreversible*). Rasio  $i_{pa}/i_{pc} > 1$ , keadaan ini menunjukkan bahwa produk korosi paduan Al-Mg 5052 dalam larutan natrium klorida bersifat tidak stabil. Kemungkinan produk korosi senyawa kompleks dan tidak mudah tereduksi kembali menjadi aluminium (Al) juga tidak membentuk endapan  $Al_2O_3$  di permukaan paduan Al-Mg 5052 karena konsentrasi  $Al_2O_3$  kurang dari kelarutannya.

Kurva voltamogram pada Gambar 7 menunjukkan bahwa kurva anodik memiliki satu puncak. Dengan demikian, paduan Al- Mg 5052 terkorosi dalam larutan natrium

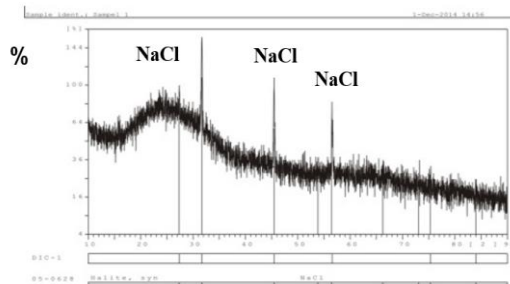
klorida dengan reaksi oksidasi satu tahap. Pelepasan elektron pada paduan Al-Mg 5052 menjadi ion  $Al^{3+}$  terjadi secara simultan tanpa melalui pembentukan  $Al^+$  dan  $Al^{2+}$  terlebih dahulu. Selain itu, terlihat pula bahwa arus anodik pada *reverse scan* lebih besar dari arus anodik pada *forward scan*. Hal ini menjelaskan bahwa laju reaksi anodik balik lebih besar dari laju reaksi anodik maju karena luas permukaan anoda menjadi lebih besar setelah permukaan menjadi kasar akibat terkorosi.

#### g. Analisa produk korosi

Analisa produk korosi paduan Al-Mg 5052 dalam larutan natrium klorida 0,5M pada temperatur ruang dan pH = 7 berupa



difraktogram produk korosi ditampilkan pada Gambar 8.

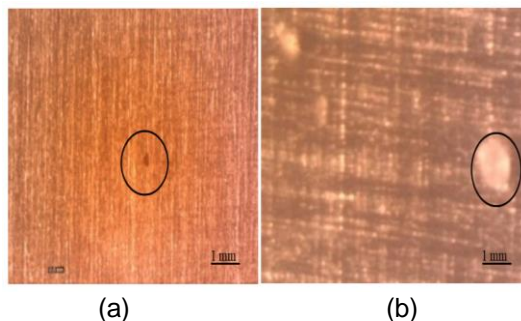


Gambar 8. Difraktogram produk korosi paduan Al-Mg 5052.

Hasil spektroskopi difraksi sinar X menunjukkan beberapa puncak dominan berupa kristal NaCl dan tidak mendeteksi adanya senyawa aluminium dalam bentuk kristalin. Produk korosi bersifat tidak stabil sehingga terlarut dalam bentuk garam dan tidak ditemukan oksida. Fenomena ini sesuai dengan mekanisme reaksi yang ditunjukkan pada kurva voltamogram Gambar 7 yang menjelaskan tidak adanya pasivasi serta hanya terjadi satu tahap reaksi perubahan Al menjadi  $Al^{3+}$  tanpa melalui pembentukan  $Al^+$  dan  $Al^{2+}$  terlebih dahulu.

#### h. Bentuk serangan korosi

Uji perendaman dilakukan pada spesimen paduan Al-Mg 5052 berukuran 2x2 cm<sup>2</sup> di dalam larutan natrium klorida 0,5 M. Spesimen yang telah dicuci dan dikeringkan kemudian difoto menggunakan mikroskop stereo dengan perbesaran 60x dan 305x. Hasil foto spesimen ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil foto spesimen paduan Al-Mg 5052.

- a) perbesaran 60x,  
b) perbesaran 305x

Permukaan paduan Al-Mg 5052 sebelum direndam tidak nampak kerusakan akibat korosi. Setelah direndam di dalam larutan natrium klorida 0,5 M yang diasamkan selama 7 (tujuh) hari terlihat kerusakan setempat di permukaan logam paduan Al-Mg 5052. Hal ini disebabkan paduan Al-Mg seri 5xxx memiliki partikel intermetalik yang kaya magnesium (Mg) dan bersifat anodik terhadap matriks  $\alpha$ -aluminium ( $\alpha$ -Al). Apabila di permukaan spesimen paduan Al-Mg terdapat partikel intermetalik tersebut dan spesimen terpapar ke lingkungan korosif seperti larutan natrium klorida, maka partikel intermetalik akan terkorosi lebih dulu dan menjadi inisiasi serangan korosi setempat.

#### SIMPULAN

Laju korosi paduan Al-Mg 5052 meningkat dengan kenaikan konsentrasi larutan natrium klorida dan temperatur serta dipengaruhi kondisi pH lingkungan. Dalam rentang konsentrasi 0,05–0,5 M dan temperatur 30-45°C pada kondisi pH 6 dan pH 7 nilai laju korosi paduan Al-Mg 5052 dapat dikategorikan “dapat diabaikan” (kurang dari 0,0508 mm/ tahun) hingga “sedang” (0,508-1,270 mm/ tahun).

Selanjutnya untuk menghasilkan laju korosi yang dapat diabaikan, paduan Al-Mg 5052 yang digunakan sebagai pelat elemen bakar nuklir sebaiknya digunakan di dalam air pendingin netral yang mengandung klorida dengan konsentrasi kurang dari 0,0448 M pada temperatur dibawah 45°C.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih Penulis sampaikan kepada BATAN yang telah membiayai kegiatan penelitian ini serta Dr. Isdiriyani Nurdin dan Dr. Hary Devianto yang telah memberikan masukan dan bantuan penggunaan peralatan untuk kelancaran kegiatan penelitian di Laboratorium Keselamatan Proses dan Pengendalian Korosi ITB Bandung.

---

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonimous, (1995) Manual Operasi RSG-GA Siwabessy, *Kehilangan Air Pendingin Primer*, No. Ident. RSG/ORS/95 rev.0.
- [2] Sunaryo, GR. ,Santoso, (2014) *Corrosion Behavior fo carbon Steel in RSG-GAS Secondary Water Coolant*, Serpong.
- [3] Anonimous, (2011), *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS*. Rev. 10-1, Serpong.
- [4] Abodi, L.C., (2012), *Modeling Localized Aluminum Alloy Corrosion in Chloride Solutions Under non-Equilibrium Conditions: Steps Toward Understanding Pitting Initiation*, Elsevier B.V. All rights reserved.
- [5] Ching-Yuan Bai., (2008), *Surface Modification of Aluminum Alloy 5052 for Bipolar Plates Using an Electroless Deposition Process*, Elsevier B.V. All rights reserved.
- [6] Lugovskoy, Alex, Michael Zinigrad, (2013), *Material Science-Advanced Topics: Plasma Elecrolytic Oxidation of Valve Metals*, Intech.
- [7] Vereecken, J, (2004), *Corrosion Control of Aluminium-Forms of Corrosion and Prevention*, Vrije Universiteit Brussels, European Aluminium Association.
- [8] Roberge, R. P, (2008), *Corrosion Engineering Principles and Practise*, McGraw-Hill, New York.
- [9] Krawiec, Halina., (2012), *Influence of Applied Strain on The Microstructural Corrosion of AlMg2 as Cast Aluminium Alloy in Sodium Chloride Solution*, Elsevier B.V. All rights reserved.
- [10] Prasetya Yoppy A.A, Nurdin Isdiriyani, (2012), *Korosi Aluminium Dalam Larutan Asam Sitrat*, Jurnal Teknik Kimia Indonesia, Vol. 11, No. 2.
- [11] Jones, Denny A., (1992), *Principles and Prevention of Corrosion*, Macmillan Publishing Company, New York.
- [12] National Associaton of Corrosion Engineers, (1985), *Corrosion Data Survey, Metals Section, Sixth Edition*, An Official NACE Publication, Texas.
- [13] Department of Energy Corrosion, (1983), dalam *DOE Fundamentals Handbook, Chemistry, Volume 1 of 2*, Modul 2, Department of Energy, Editor, Washington.
- [14] Mehdi F., Naeini., (2013), *On the chloride-induced pitting of ultra fine grains 5052 aluminum alloy produced by accumulative roll bonding process*, Elsevier B.V. All rights reserved.
- [15] Setyawan, Heru, (2013), *Electrochemical Methods of Analysis*, Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.