

## ANALISIS LAPISAN PELINDUNG KOROSI PADUAN Al-Mg-Si YANG DILAPISI LOGAM TANAH JARANG

Rusdiana Darajati<sup>1</sup>, Mohammad Ihsan<sup>2</sup> dan Wuryanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, FMIPA ITS

Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314

### ABSTRAK

**ANALISIS LAPISAN PELINDUNG KOROSI PADUAN Al-Mg-Si YANG DILAPISI LOGAM TANAH JARANG.** Telah dilakukan serangkaian analisis korosi pada paduan Al-Mg-Si yang sudah diberi lapisan pelindung tahan korosi oksida tanah jarang yang digabung dengan film oksida aluminium yang seragam yang terbentuk pada permukaan paduan aluminium. Teknik pengujian korosi yang digunakan adalah E corr terhadap waktu, tahanan polarisasi, potensi dinamik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk analisis permukaan. Potensial korosi bebas sampel dalam medium air umumnya meningkat terhadap waktu kecuali sampel yang dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine. Dalam medium HCl (pH=1) potensial korosi bebas sampel AlMgSi, sampel AlMgSi yang dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine, dan sampel Al MgSi yang dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan CeCl<sub>3</sub> cenderung meningkat terhadap waktu sedangkan sampel AlMgSi yang dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan YCl<sub>3</sub> atau RECl<sub>3</sub> cenderung menurun terhadap waktu. Sedangkan potensial korosi bebas sampel dalam medium NaOH (pH=13) cenderung meningkat terhadap waktu. Laju korosi sampel AlMgSi yang dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dalam medium air relatif paling kecil (0,0205 mpy), dalam medium HCl (pH=1) dan NaOH (pH=13) laju korosi sampel AlMgSi yang dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan YCl<sub>3</sub> relatif paling kecil, masing-masing adalah 0,1157 mpy dan 2468,26 mpy. Sampel AlMgSi yang dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan RECl<sub>3</sub> dalam medium air mengalami pasivasi dan transpasivasi sedangkan keempat sampel yang lain tidak mengalami pasivasi, dalam medium HCl (pH=1), kelima sampel umumnya mengalami pasivasi pada daerah densitas arus yang sama dan dalam medium NaOH (pH=13) sampel AlMgSi mengalami transpasivasi pada potensial 800 mV, sementara keempat sampel yang lain mengalami pasivasi pada potensial antara -850 – 1500 mV. Analisis dengan SEM menunjukkan bahwa lapisan pelindung yang dibentuk pada permukaan sampel kurang dapat melindungi sampel terutama dalam medium HCl (pH=1) dan dalam medium NaOH (pH=13).

**Kata Kunci :** korosi, laju korosi, E corr, tahanan polarisasi, potensi dinamik.

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF CORROSION RESISTANT FILM ON Al-Mg-Si COATED BY RARE EARTH METAL.** Corrosion analysis of Al-Mg-Si alloy which given corrosion-resistant film of a rare earth oxide coating incorporated with a uniform aluminum oxide film which has been formed on the aluminum alloy surface has been done. The measurement techniques were E corr versus time, polarization resistance, potentiodynamic and SEM (*Scanning Electron Microscope*) for surface analysis. Potential corrosion in water environment tend to bigger with more time for four samples except sample AlMgSi that dipped into triethanolamine. In HCl pH=1 potential corrosion sample AlMgSi, AlMgSi that dipped into triethanolamine, AlMgSi that dipped into triethanolamine and CeCl<sub>3</sub> tend to bigger with more time while sample AlMgSi that dipped into triethanolamine and YCl<sub>3</sub> or RECl<sub>3</sub> tend to smaller with more time. Potential corrosion in NaOH pH=13 tend to bigger with more time for all samples. Corrosion rate for sample AlMgSi that dipped into triethanolamine in water environment relatively slower (0,0205 mpy), while in HCl pH=1 and NaOH pH=13 corrosion rate sample AlMgSi that dipped into triethanolamine and YCl<sub>3</sub> relatively slower, respectively are 0,1157 mpy and 2468,26 mpy. Sample AlMgSi that dipped into triethanolamine and RECl<sub>3</sub> in water environment has passivation and transpassivation area while four sampel don't have passivation area, in HCl pH=1 all samples generally have passivation area at the same current density range while in NaOH pH=13 sample AlMgSi has transpassivation area at a potential of about 800 mV, while four other sample have passivation area at a potential of about -850 – 1500 mV. SEM analysis show that the coating layer which formed on the sample surface less protective especially in HCl pH=1 and NaOH pH=13.

**Key words :** corrosion, corrosion rate, E corr, polarization resistance, potentiodynamic.

## PENDAHULUAN

Bahan aluminium dan paduannya (*Al alloy*) sering digunakan dalam bidang industri otomotif, pesawat terbang, elemen bahan nuklir maupun alat-alat olah raga karena beberapa kelebihan yang dimilikinya. Beberapa kelebihan tersebut diantaranya adalah tahan terhadap korosi, mempunyai kekuatan dan modulus yang tinggi pada temperatur kamar dan temperatur tinggi, ketahanannya baik, memiliki konduktivitas panas yang tinggi serta koefisien ekspansi panas yang rendah [1].

Metoda yang biasa digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi pada aluminium dan paduannya adalah anodisasi dan pasivasi dengan larutan kromat atau konversi kromat (*chromate conversion*) [2]. Karena adanya beberapa kelemahan dari kedua metoda tersebut, maka dewasa ini mulai dikembangkan suatu metoda baru yang melibatkan bahan cerium atau kation-kation logam tanah jarang (*rare earth metal*) lainnya yang bersama-sama dengan oksida aluminium membentuk lapisan pelindung korosi bagi bahan (*material*) dasar yang memiliki kelebihan di antaranya proses tidak memerlukan prosedur yang rumit dan mahal, ketahanan korosi yang dihasilkan lebih unggul dibandingkan dua metoda sebelumnya [3]. Pembentukan lapisan penghalang tahan korosi ini dilakukan dengan menggunakan metoda kimia.

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan sebagai pelapis adalah logam tanah jarang. Paduan logam ini berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dan temperatur paduan sehingga menjadi lebih tahan terhadap korosi.

## METODA

### Bahan

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah : paduan Al-Mg-Si dengan komposisi unsur Al = 97,1697 %, Mg = 0,93 %, Si = 0,94 %, larutan triethanolamine 1 % volume dalam air, larutan  $CeCl_3$ ;  $YCl_3$ ; dan  $RECl_3$  dengan konsentrasi masing-masing larutan 10000 ppm, larutan HCl dengan pH=1, larutan NaOH dengan pH=13 dan aqua demineral.

### Alat

Alat yang dipakai antara lain adalah M 273 Potensiostat/Galvanostat merk EG & G yang di lengkapi M 342 Softcorr Corrosion Measurement Software, sel korosi yang dilengkapi elektroda kalomel jenuh (EKJ), elektroda bantu grafit, pH meter merk Schott Gerate tipe CG820, mesin pengamplas merk Struers Dap-V, SEM merk Philips tipe 515, dan berbagai peralatan laboratorium.

### Preparasi Cuplikan

Sampel Al-Mg-Si yang akan diberi lapisan tahan korosi dibentuk berupa silinder dengan diameter 1,4 cm

dan ketebalan  $\pm 0,5$  cm. Setelah itu benda uji tersebut dipoles dengan menggunakan kertas gosok SiC dengan ukuran kehalusan 80, 400, 600, 1000, 1500 mesh dan dilanjutkan dengan pemolesan menggunakan alumina untuk meratakan permukaannya. Untuk pengujian strukturmikro, permukaan sampel dihaluskan dengan menggunakan kertas gosok sampai kehalusan 2000 mesh. Setelah permukaan sampel rata, sampel tersebut dibersihkan dengan pembersih ultrasonik dalam aseton selama lima menit dan dikeringkan di udara. Sampel dibagi ke dalam 5 jenis sampel. Sampel I adalah Al-Mg-Si tanpa lapisan, sampel II adalah Al-Mg-Si yang akan dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dengan suhu  $82^\circ C$  selama  $\pm 4$  menit, sampel III adalah Al-Mg-Si yang akan dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  dengan suhu  $57^\circ C$  selama  $\pm 15$  menit dan dipanaskan pada temperatur  $160^\circ C$  selama  $\pm 10$  menit, sampel IV adalah Al-Mg-Si yang akan dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  dengan suhu  $57^\circ C$  selama  $\pm 15$  menit dan dipanaskan pada temperatur  $160^\circ C$  selama  $\pm 10$  menit sedangkan sampel V adalah yang akan dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dengan suhu  $82^\circ C$  selama  $\pm 4$  menit dan  $RECl_3$  dengan suhu  $57^\circ C$  selama  $\pm 15$  menit dan dipanaskan pada temperatur  $160^\circ C$  selama  $\pm 10$  menit. Sampel yang siap pakai disimpan di dalam desikator.

## Pengujian Korosi

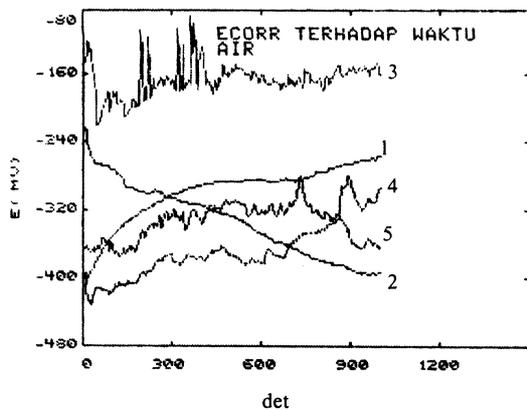
Sampel yang akan dikorosikan diletakkan pada pemegang cuplikan. Kemudian sampel tersebut yang bertindak sebagai elektroda kerja dimasukkan ke dalam sel korosi yang telah diisi dengan media pengkorosi sebanyak 600 ml bersama-sama dengan elektroda bantu dan elektroda pembanding (EKJ), kemudian dihubungkan dengan potensiostat. Selanjutnya dilakukan pengukuran E corr terhadap waktu dengan kecepatan *scan* 0,1 mV/detik. Setelah itu dilakukan pengukuran tahanan polarisasi untuk mengetahui ketahanan sampel terhadap oksidasi selama pemberian potensial luar. Potensial luar yang diberikan adalah -20 mV di bawah E corr dan +20 mV di atas E corr dengan kecepatan *scan* 0,1 mV/detik. Baru setelah itu dilakukan pengukuran dengan teknik potensiodinamik untuk mengetahui karakteristik daerah aktif maupun pasif dari sistem logam - larutan. Potensial yang diberikan mulai -500 mV di bawah E corr sampai 1600 mV di atas E ref. Kecepatan *scan* yang digunakan adalah 0,5 mV/detik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Korosi

Potensial korosi (E corr) terhadap waktu

Gambar 1. memperlihatkan bahwa sampel III memiliki potensial korosi (E corr) yang relatif paling tinggi dibandingkan dengan sampel yang lain. Ini berarti sampel

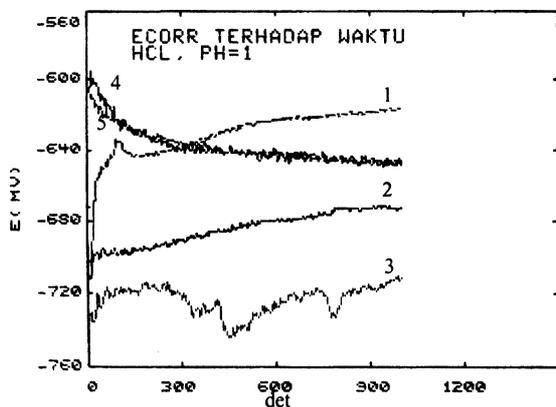


Gambar 1. Kurva E corr terhadap waktu untuk sampel I, II, III, IV dan V dalam medium air dengan kecepatan scan 0,1 mV/detik.

**KETERANGAN:**

- 1= Sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan (Sampel I)
- 2= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (Sampel II)
- 3= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  (Sampel III)
- 4= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  (Sampel IV)
- 5= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$  (Sampel V)

III tersebut memiliki potensial yang paling positif terhadap potensial elektroda referensi dibandingkan empat sampel yang lain. Sedangkan sampel II, pada detik ke 0 memiliki harga potensial korosi bebas yang lebih positif dibandingkan dengan sampel Al-Mg-Si yang tanpa perlakuan. Tetapi seiring dengan bertambahnya waktu harga potensial korosi bebas sampel II cenderung menurun dan semakin dekat terhadap potensial referensi. Hal ini menyatakan bahwa lapisan film *bohmite* yang terbentuk pada permukaan sampel mengalami oksidasi, karena permukaan lapisan film *bohmite* langsung kontak dengan lingkungannya. Sampel I, IV, V, potensial korosi bebasnya relatif meningkat seiring bertambahnya waktu. Hal ini menandakan permukaan sampel-sampel tersebut mengalami reduksi.



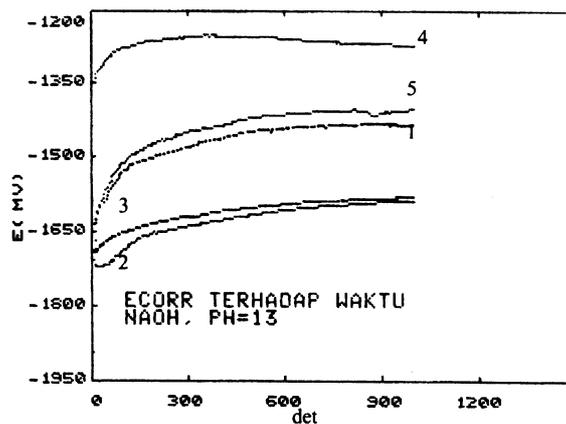
Gambar 2. Kurva E corr terhadap waktu untuk sampel I, II, III, IV dan V dalam medium HCl pH=1 dengan kecepatan scan 0,1 mV/detik.

**Keterangan:**

- 1= Sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan (Sampel I)
- 2= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (Sampel II)
- 3= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  (Sampel III)
- 4= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  (Sampel IV)
- 5= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$  (Sampel V)

Dari Gambar 2. terlihat bahwa sampel IV dan V memiliki kecenderungan yang sama yaitu potensialnya mengalami penurunan sebagai fungsi waktu dalam medium HCl dengan pH = 1. Ini berarti bahwa sampel IV dan V tersebut semakin lama semakin mudah teroksidasi dalam lingkungan HCl pH = 1. Selama proses pengujian, lapisan  $Y_2O_3$  yang terbentuk pada permukaan sampel IV rusak sehingga tidak ada lagi lapisan pelindung pada permukaannya, dengan demikian harga potensial korosi bebasnya menjadi turun.

Sedangkan untuk sampel II memiliki harga potensial korosi bebas awal yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel I dan III yaitu sekitar -704 mV. Pada kondisi awal, sampel II ini tidak mudah teroksidasi dalam medium HCl pH=1 dan seiring dengan bertambahnya waktu, potensial korosi bebas sampel II ini semakin meningkat yang menyatakan bahwa kondisi sampel ini semakin baik dan semakin sulit teroksidasi. Sampel III memiliki potensial korosi bebas awal yang paling rendah dibandingkan dengan sampel yang lain (-736 mV). Potensial korosi bebas sampel ini cenderung naik meskipun tidak stabil karena adanya perubahan-



Gambar 3. Kurva E corr terhadap waktu untuk sampel I, II, III, IV dan V dalam medium NaOH pH=13 dengan kecepatan scan 0,1 mV/detik.

**Keterangan:**

- 1= Sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan (Sampel I)
- 2= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (Sampel II)
- 3= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  (Sampel III)
- 4= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  (Sampel IV)
- 5= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$  (Sampel V)

perubahan pada permukaan sampel selama proses pengujian, ini menunjukkan bahwa sampel III ini semakin lama makin sulit teroksidasi dalam lingkungan HCl pH=1.

Gambar 3. menampilkan kurva hasil pengujian E corr terhadap waktu untuk kelima sampel dalam medium NaOH dengan pH=13. Secara keseluruhan terjadi peningkatan harga potensial korosi bebas seiring dengan bertambahnya waktu. Namun harga potensial korosi bebas dari kelima sampel tersebut tergolong rendah dibandingkan dengan harga potensial korosi bebasnya dalam medium air dan HCl dengan pH=1. Hal ini bisa dimengerti jika dilihat dari diagram Pourbaix aluminium dimana pada range pH antara 9 – 15 merupakan daerah korosi bagi bahan aluminium.

### Tahanan Polarisisasi

Pengujian korosi dengan menggunakan teknik tahanan polarisisasi (*Polarization Resistance, Rp*) dimaksudkan untuk melihat ketahanan sampel selama oksidasi ketika diberi potensial luar.

Tahanan polarisisasi ditentukan dari kemiringan (*slope*) antara potensial yang diberikan terhadap arus yang dihasilkan. Laju korosi secara langsung dapat dihitung dari tahanan polarisisasi. Semakin besar kemiringan atau *slope* ( $\Delta E/\Delta i$ ) maka laju korosinya semakin besar.

Tabel 1. Laju korosi berbagai sampel.

SAMPSEL	LAJU KOROSI (mpy)		
	AIR	HCl pH = 1	NaOH pH = 13
Sampel I	0,0304	11685,92	9924,59
Sampel II	0,0205	33,29	6964,83
Sampel III	4,3	61222,5	9147,4
Sampel IV	0,0443	0,1157	2468,26
Sampel V	0,0219	12764,51	8157

Keterangan:

- I= Sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan
- II=Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine
- III=Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan CeCl<sub>3</sub>
- IV=Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan YCl<sub>3</sub>
- V=Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan RECl<sub>3</sub>

Dari Tabel 1 terlihat bahwa tiap sampel memiliki kecenderungan korosi yang berbeda di dalam air, HCl (pH=1) dan NaOH (pH=13). Dalam medium air, sampel II memiliki laju korosi yang paling kecil yang menandakan bahwa sampel II ini lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan sampel yang lain. Sedangkan sampel III memiliki laju korosi yang paling besar dibandingkan dengan sampel yang lain dalam medium air yang menunjukkan bahwa sampel ini cenderung lebih

mudah terkorosi.

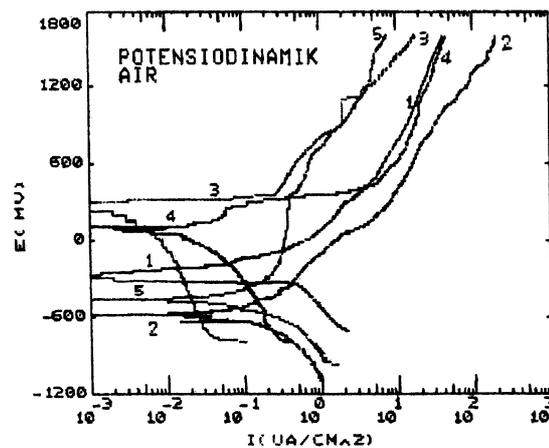
Dalam medium HCl (pH=1), sampel IV memiliki laju korosi yang paling kecil yang menunjukkan bahwa sampel IV tersebut lebih tahan korosi disebabkan lapisan pelindung yang terbentuk pada permukaan sampel tidak mudah rusak oleh ion Cl<sup>-</sup>. Sedangkan sampel III memiliki laju korosi yang paling besar relatif terhadap sampel yang lain. Ini berarti lapisan pelindung pada sampel III paling mudah diserang oleh ion-ion Cl<sup>-</sup>.

Sedangkan dalam medium NaOH pH=13 sampel IV lebih sukar terkorosi dibandingkan sampel yang lain karena laju korosinya paling kecil, kondisi ini sama dengan sampel II (dalam medium air) dan sampel IV (dalam medium HCl pH=1). Laju korosi paling besar dimiliki oleh sampel I, sehingga sampel I dapat dikatakan paling mudah terkorosi dalam lingkungan NaOH pH=13.

### Teknik Potensiodinamik

Setelah pengujian dengan teknik tahanan polarisisasi, sampel diuji dengan menggunakan teknik potensiodinamik. Teknik potensiodinamik ini dilakukan untuk mengetahui perilaku aktif-pasif sampel.

Dari Gambar 4 terlihat bahwa kelima sampel belum menunjukkan perilaku pasif, walaupun potensialnya telah dinaikkan sampai di atas 1500 mV. Hal ini menunjukkan bahwa kelima sampel dalam medium air bersifat aktif walaupun laju korosinya rendah seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

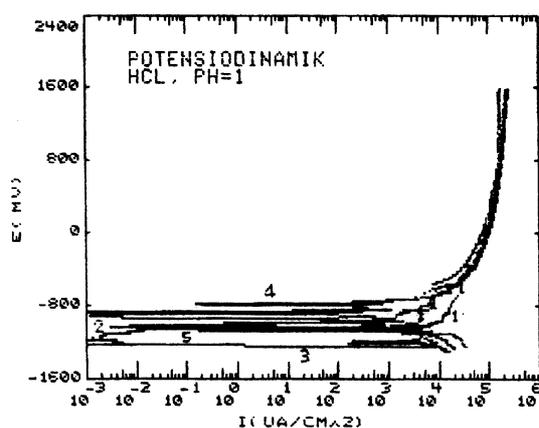


Gambar 4. Kurva potensiodinamik sampel I, II, III, IV dan V dalam medium air. E<sub>awal</sub> = -500 mV di bawah E<sub>corr</sub> dan E<sub>akhir</sub> = 1600 di atas E<sub>ref</sub>. Kecepatan scan 0.5 mV/detik.

Keterangan:

- 1= Sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan (Sampel I)
- 2= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (Sampel II)
- 3= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan CeCl<sub>3</sub> (Sampel III)
- 4= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan YCl<sub>3</sub> (Sampel IV)
- 5= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan RECl<sub>3</sub> (Sampel V)

Bagian kurva yang dihasilkan dari pemberian potensial ke arah negatif menunjukkan perilaku sampel yang bertindak sebagai katoda sedangkan yang bertindak sebagai anoda adalah elektroda bantu. Reaksi yang berlangsung dalam elektrolit adalah reaksi pembentukan gas oksigen melalui oksidasi air [4]. Bagian kurva yang dihasilkan dari pemberian potensial ke arah positif menunjukkan perilaku sampel yang bertindak sebagai anoda. Pemberian potensial ke arah positif pada sampel ini menyebabkan lapisan pelindung pada sampel rusak sehingga terjadi peningkatan rapat arus.



Gambar 5. Kurva potensiogram dinamik sampel I, II, III, IV dan V dalam medium HCl pH=1.  $E_{awal} = -500$  mV di bawah  $E_{kor}$  dan  $E_{akhir} = 1600$  di atas E ref. Kecepatan scan 0.5 mV/detik.

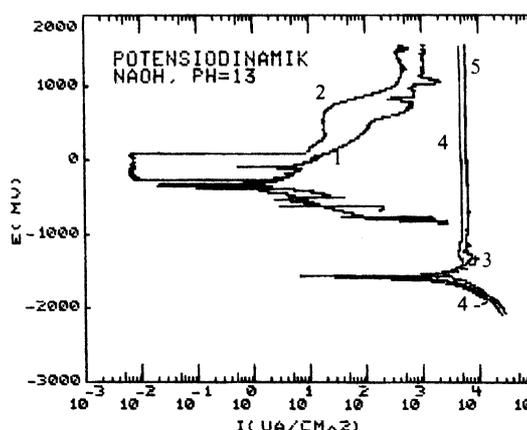
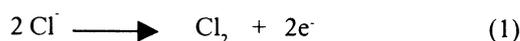
Keterangan:

- 1= Sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan (Sampel I)
- 2= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (Sampel II)
- 3= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  (Sampel III)
- 4= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  (Sampel IV)
- 5= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$  (Sampel V)

Gambar 5. menyajikan pengujian korosi sampel I, II, III, IV dan V dalam medium HCl pH=1 dengan menggunakan teknik potensiogram dinamik. Terlihat bahwa semua sampel berada dalam daerah densitas arus dan potensial keseimbangan korosi yang relatif sama. Ini menunjukkan bahwa kelima sampel mempunyai perilaku aktif-pasif yang hampir sama dalam lingkungan HCl pH=1.

Pemberian potensial ke arah negatif menyebabkan sampel bertindak sebagai katoda dengan tereduksinya sampel. Sampel I dan II akan tereduksi menjadi Al dan Mg, sampel III tereduksi menjadi Al, Ce dan Mg, sampel IV tereduksi menjadi Al, Ce dan Mg sedangkan sampel V tereduksi menjadi Al, RE dan Mg.

Reaksi dalam elektrolit adalah pembentukan gas klorida, seperti ditunjukkan dalam persamaan reaksi berikut:



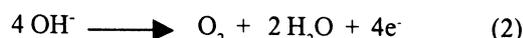
Gambar 6. Kurva potensiogram dinamik sampel I, II, III, IV dan V dalam medium NaOH pH=13.  $E_{awal} = -500$  mV di bawah  $E_{kor}$  dan  $E_{akhir} = 1600$  di atas E ref. Kecepatan scan 0.5 mV/detik.

Keterangan:

- 1= Sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan (Sampel I)
- 2= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (Sampel II)
- 3= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  (Sampel III)
- 4= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  (Sampel IV)
- 5= Sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$  (Sampel V)

Sampel I memiliki potensial keseimbangan korosi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel II. Ini berarti bahwa potensial korosi bebas sampel I memiliki potensial yang lebih positif terhadap potensial referensi dibandingkan dengan keempat sampel yang lain.

Pemberian potensial ke arah negatif menjadikan sampel berkelakuan sebagai katoda dan mengalami reduksi. Sampel I dan II akan tereduksi menjadi Al dan Mg, sedangkan reaksi yang terjadi pada elektrolit adalah:



Pemberian potensial ke arah negatif menyebabkan sampel berkelakuan sebagai anoda dan mengalami oksidasi. Sampel I dan II akan teroksidasi menjadi  $Al^{3+}$  dan  $Mg^{2+}$ . Reaksi yang terjadi pada elektrolit adalah [5]:



Terjadi daerah transpasif pada sampel I yaitu pada potensial 800 mV karena lapisan pelindung rusak sehingga sampel menjadi reaktif terhadap lingkungannya. Setelah itu terjadi pasivasi lagi yang mengindikasikan bahwa sampel sudah tidak reaktif lagi karena terlindungi. Sampel II mengalami pasivasi pada potensial sekitar 1100 mV.

Sampel III, IV dan V memiliki harga potensial keseimbangan korosi yang relatif sama, tetapi densitas arus sampel IV (sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan  $YCl_3$ ) berada pada daerah yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan sampel III dan V.

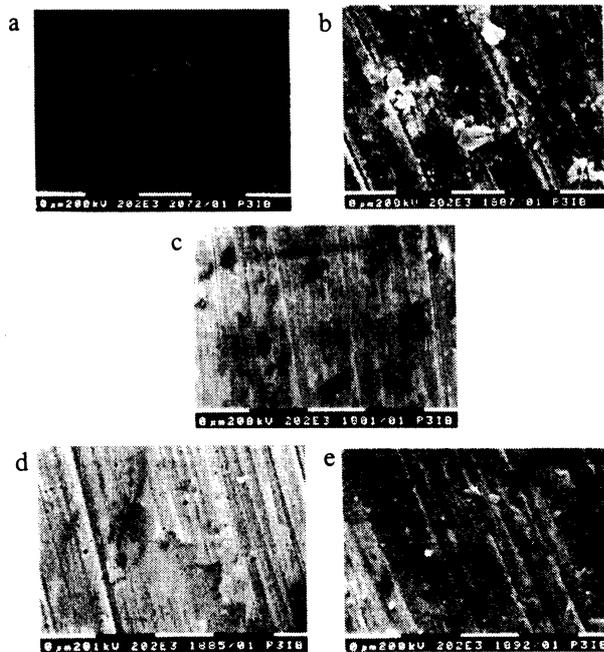
Pasivasi ketiga sampel tersebut terjadi pada potensial pasif sekitar  $-850$  mV. Keadaan pasivasi ini stabil sampai pada potensial  $1500$  mV ketika pengujian dihentikan.

## Analisis Permukaan Sampel

### Sebelum Pengujian Korosi

Sebelum pengujian korosi dilakukan, terlebih dahulu dilakukan analisa permukaan sampel untuk mengetahui kondisi permukaan sampel dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Untuk sampel yang tanpa perlakuan (sampel I, Gambar 7.a.), kondisi permukaannya rata dan tidak terdapat endapan maupun goresan. Sedangkan sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (sampel II, Gambar 7.b), pada permukaannya terdapat endapan-endapan akibat proses pelapisan, sehingga di salah satu bagian permukaan sampel tersebut terdapat bagian yang lapisannya lebih tebal dibandingkan dengan bagian yang lain.



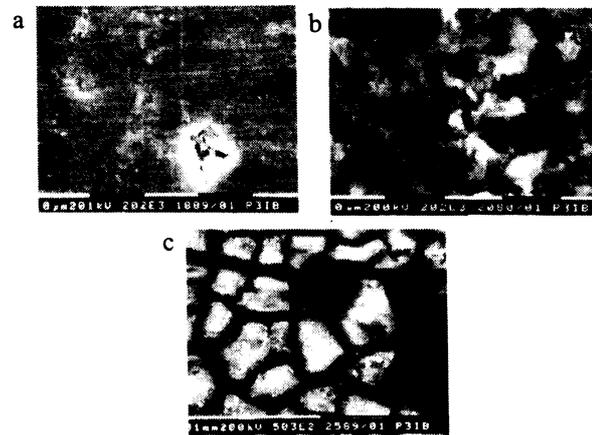
**Gambar 7.** Hasil SEM terhadap benda uji I, II, III, IV dan V sebelum pengujian korosi : (a) sampel AlMgSi tanpa perlakuan, (b) sampel AlMgSi yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine, (c) sampel AlMgSi yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$ , (d) sampel AlMgSi yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$ , dan (e) sampel AlMgSi yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$ .

Sedangkan untuk sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  (sampel III, Gambar 7.c.) pada permukaannya terlihat adanya lapisan tipis yang berwarna hitam dan tidak merata. Untuk sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan

triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  (sampel IV, Gambar 7.d) pada permukaannya terdapat endapan-endapan meskipun tidak begitu tebal dan kelihatan lebih merata. Sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$  (sampel V, Gambar 7.e), kondisi permukaannya hampir sama dengan sampel IV dan pada permukaannya terdapat endapan-endapan yang tidak terlalu tebal dan merata.

### Sesudah pengujian korosi

Sesudah pengujian korosi dilakukan, permukaan sampel diamati kembali untuk melihat seberapa besar kerusakan yang sudah terjadi akibat pengujian korosi dalam medium air, HCl dengan  $pH=1$  dan NaOH dengan  $pH=13$ .



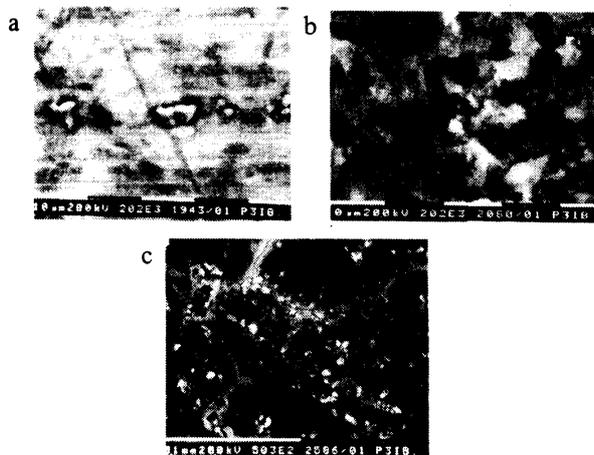
**Gambar 8.** Hasil uji SEM terhadap sampel Al-Mg-Si tanpa perlakuan dalam medium (a) air, (b) HCl  $pH=1$  dan (c) NaOH  $pH=13$ .

Gambar 8.a. memperlihatkan adanya kerusakan pada permukaan sampel tanpa perlakuan setelah diuji korosi dalam medium air, yaitu permukaannya terdangkal dan terkelupas meskipun tidak terlalu parah dan hanya pada tempat-tempat tertentu. Pemberian potensial pada saat pengujian korosi menyebabkan rusaknya lapisan pelindung pada permukaan sampel.

Sedangkan sampel tanpa perlakuan yang diuji korosi dalam medium HCl  $pH=1$  menunjukkan kerusakan yang sangat parah pada seluruh permukaannya seperti yang terlihat pada Gambar 8.b. Rusaknya sampel dalam medium HCl  $pH=1$  disebabkan karena rusaknya lapisan pelindung selama pemberian potensial dan ion-ion  $Cl^-$  mencegah pembentukan lapisan pelindung pada permukaan sampel sehingga permukaan sampel langsung berinteraksi dengan lingkungannya dan larut.

Sampel yang sudah diuji dalam medium NaOH  $pH=13$  (Gambar 8.c) menyebabkan permukaan sampel menjadi pecah-pecah dan sebagian terkelupas. Pada permukaannya juga terdapat endapan-endapan berwarna putih.

Dari gambar 9.a. terlihat bahwa pada permukaan sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine mengalami kerusakan setelah diuji korosi dalam

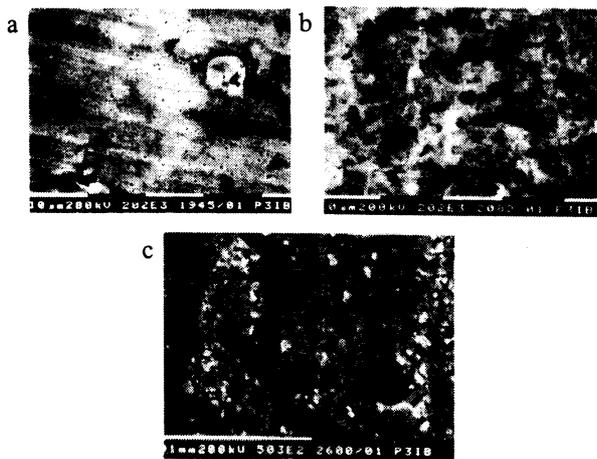


**Gambar 9.** Hasil uji SEM terhadap sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dalam (a) medium air, (b) HCl pH=1 dan (c) NaOH pH=13.

medium air, seperti pada sampel yang tanpa perlakuan (Gambar 8.a) yaitu permukaannya terkelupas meskipun tidak terlalu parah dan hanya pada tempat-tempat tertentu.

Sedangkan sampel yang diuji korosi dalam medium HCl pH=1 menunjukkan kerusakan yang sangat parah pada seluruh permukaannya seperti yang terlihat pada Gambar 9.b.

Sampel II yang sudah diuji dalam medium NaOH pH=13 tidak mengalami kerusakan seperti pada sampel I (Gambar 8.c). Pada permukaan sampel terdapat retakan-retakan dan endapan-endapan putih.

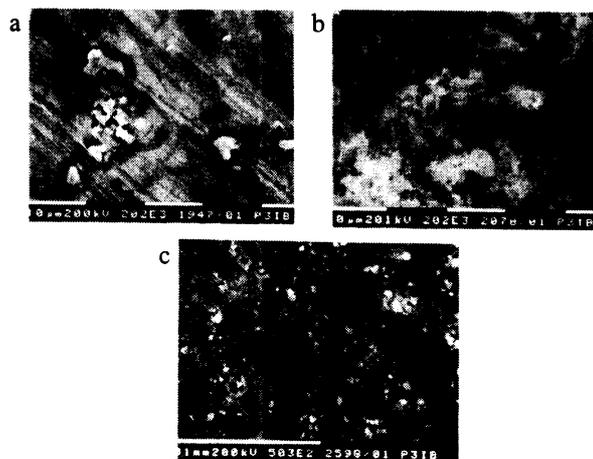


**Gambar 10.** Hasil uji SEM terhadap sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  dalam (a) medium air, (b) HCl pH=1 dan (c) NaOH pH=13.

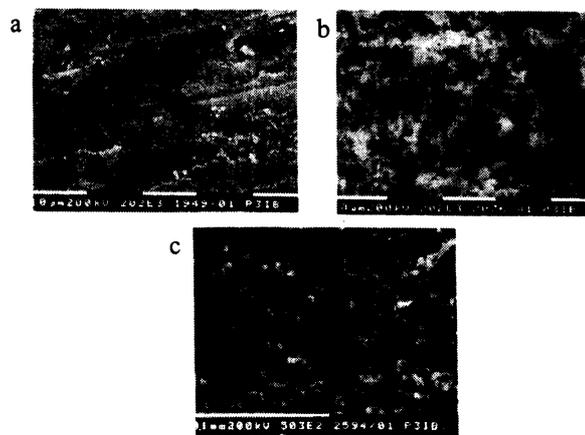
Gambar 10.a memperlihatkan bahwa pada permukaan sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $CeCl_3$  setelah diuji korosi dalam medium air menunjukkan adanya kerusakan seperti pada sampel-sampel yang lain (Gambar 8.a, dan Gambar 9.a)

Sedangkan sampel yang diuji korosi dalam

medium HCl pH=1 menunjukkan kerusakan yang sangat parah pada seluruh permukaannya seperti yang terlihat pada Gambar 10.b.



**Gambar 11.** Hasil uji SEM terhadap sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  dalam (a) medium air, (b) HCl pH=1 dan (c) NaOH pH=13.



**Gambar 12.** Hasil uji SEM terhadap sampel Al-Mg-Si yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $RECl_3$  dalam medium (a) air (b) HCl pH=1, dan (c) NaOH pH=13.

Kondisi sampel III yang sudah diuji dalam medium NaOH pH=13 sama seperti kondisi pada sampel II (Gambar 9.c) yaitu terdapat adanya retakan-retakan dan endapan-endapan putih pada permukaannya.

Gambar 11. menyajikan gambar hasil uji SEM untuk sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan larutan  $YCl_3$  dalam medium air, HCl pH=1 dan NaOH pH=13.

Dari gambar terlihat bahwa kondisi permukaan sampel tersebut mirip dengan sampel-sampel sebelumnya (Gambar 9 dan Gambar 10). Berarti perbedaan larutan yang digunakan memberikan pengaruh yang hampir sama pada sampel. Ini terlihat dari kondisi permukaannya setelah pengujian korosi.

Kondisi sampel dalam medium air sama seperti pada sampel-sampel yang lain (Gambar 9.a, Gambar 10.a dan Gambar 11.a). Dalam medium HCl (pH=1) menunjukkan kerusakan yang parah pada seluruh permukaan sampel sedangkan dalam medium NaOH (pH=13) menyebabkan permukaan sampel pecah-pecah seperti pada sampel I (Gambar 9.c) tetapi bagian yang terkelupas tidak sebanyak pada sampel I.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang bisa diambil berdasarkan analisis data-data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Dari analisis korosi dengan menggunakan metoda E corr terhadap waktu dapat diketahui bahwa potensial korosi bebas sampel dalam medium air cenderung meningkat terhadap waktu kecuali sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine (sampel II). Dalam medium HCl pH=1 potensial korosi bebas sampel I (sampel tanpa perlakuan), sampel II (sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine), sampel III (sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan  $CeCl_3$ ) cenderung meningkat terhadap waktu sedangkan sampel IV (sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan  $YCl_3$ ) dan sampel V (sampel yang sudah dimasukkan ke dalam larutan triethanolamine dan  $RECl_3$ ) cenderung menurun terhadap waktu, sedangkan dalam medium NaOH pH=13 potensial korosi bebas sampel cenderung meningkat terhadap waktu.
2. Dari analisis korosi dengan teknik tahanan polarisasi dapat diketahui bahwa dalam medium air laju korosi sampel II relatif paling kecil yaitu 0,0205 mpy dan dalam medium HCl pH=1 serta NaOH pH=13 sampel IV memiliki laju korosi yang relatif paling kecil, masing-masing adalah 0,1157 mpy dan 2468,26 mpy.
3. Dengan menggunakan teknik potensiodinamik akan diperoleh gambaran perilaku aktif-pasif sampel, sampel V dalam medium air mengalami pasivasi dan transpasivasi sedangkan keempat sampel yang lain tidak mengalami pasivasi, dalam medium HCl (pH=1), kelima sampel mengalami pasivasi pada daerah densitas arus yang relatif sama dan dalam medium NaOH (pH=13) sampel I mengalami transpasivasi pada potensial 800 mV, sampel II mengalami pasivasi pada potensial 1100 mV sedangkan sampel III, IV dan V mengalami pasivasi pada potensial -850 mV yang stabil sampai pada potensial 1500 mV.
4. Analisis dengan SEM menunjukkan bahwa lapisan pelindung yang dibentuk pada permukaan sampel kurang dapat melindungi sampel terutama dalam medium HCl pH=1 dan dalam medium NaOH pH=13, ditandai dengan serangan korosi yang sangat parah,

dengan urutan tingkat serangan korosi sampel I > III > V > II > IV untuk medium HCl dan I > III > II > IV > V untuk medium NaOH.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, yaitu Ibu Ari Handayani, Bapak Suryanto, Bapak Supardjo dan Bapak Mohammad Dani serta pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan namanya.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. ASM Internasional Metals Park, *Metals Handbook Ninth Edition Vol. 2, Corrosion*, ASM Internasional Metals Park, Ohio, (1990).
- [2]. KINDLER; ANDREW, *Chromium-Free Method and Composition to Protect Aluminum*, United States Patent Document, (1991).
- [3]. RUNGTA; RAVI, *Rare Earth Coating Process For Aluminium Alloys*, United States Patent Document, (1993).
- [4]. FONTANA, MARS G, *Corrosion Engineering*, Second Edition, McGraw Hill Book Co., Singapore, (1978).
- [5]. EG&G Pricenton Applied Research, Applied Instruments Group, Application Note Corr-4, EG&G Pricenton Applied Research, USA, (1982).
- [6]. MANSFELD; FLORIAN B, *Method For Creating A Corrosion-Resistant Aluminium Surface*, United States Patent Document, (1990).
- [7]. TRETHERWEY, KENNETH R. DAN CHAMBERLIN, JOHN, *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan*, Alih Bahasa Alex Tri Kantjono Widodo, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, (1991).
- [8]. ASM Internasional Metals Park, *Metals Handbook Ninth Edition Vol. 13, Corrosion*, ASM Internasional Metals Park, Ohio, (1990).
- [9]. EG & G Pricenton Applied Research, Application Instrument Group, Application Note Corr I, EG & G Pricenton Applied Research, USA, (1982).