

ANALISIS KOROSI PADUAN AlMg₂ DAN AlMgSi MENGUNAKAN METODE ELEKTROKIMIA

Dian A, Maman Kartaman, Rosika K, Yanlinastuti

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir- BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

e-mail: ad_09@ymail.com

(Naskah diterima : 21-08-2014, Naskah disetujui: 22-09-2014)

ABSTRAK

ANALISIS KOROSI PADUAN AlMg₂ DAN AlMgSi MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKIMIA. Analisis korosi terhadap bahan kelongsong dan struktur bahan bakar reaktor riset, AlMg₂ dan AlMgSi telah dilakukan dalam media air demineral pH 6,7 dan pH 2 menggunakan metode elektrokimia. Proses korosi suatu bahan logam dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah komposisi kimia dan kondisi media pelarut. Tujuan kegiatan ini adalah untuk mengetahui fenomena korosi AlMg₂ dan AlMgSi melalui penentuan parameter korosi secara kuantitatif dan kurva polarisasi potensiodinamik dalam media netral (pH 6,7) dan asam (pH 2). Bahan yang digunakan berupa paduan AlMg₂ dan AlMgSi dengan bentuk *circular dish* dan luas 1cm². Preparasi sampel uji dilakukan dengan mengikuti prosedur ASTM G3 yaitu grinding, pembersihan dan pengeringan. Metode elektrokimia yang dilakukan pada penelitian ini mencakup pengukuran *open circuit potensial* (OCP), tahanan polarisasi dan potensiodinamik dalam media air demineral pada pH 2 dan pH 6,7 pada suhu 25°C. Hasil pengukuran OCP diperoleh nilai potensial korosi (*E_{corr}*) paduan AlMg₂ dan AlMgSi masing – masing sebesar -906,1 mV dan -619,8 mV pada pH 2 dan -868,6 mV dan -756,7 mV pada pH 6,7. Hasil pengukuran tahanan korosi menunjukkan laju korosi AlMg₂ lebih rendah dari pada AlMgSi baik pada pH 2 maupun pH 6,7. Laju korosi AlMg₂ dan AlMgSi pada pH 2 lebih besar dari padaa pH 6,7 tetapi masih berada dalam daerah aman (< 20 mpy). Kurva potensiodinamik menunjukkan bahwa passifasi pada pH 6,7 masih relatif rendah sedangkan pada pH 2 terjadi pasivasi dalam kisaran potensial yang relatif pendek dan diikuti peristiwa terkorosi.

Kata Kunci : analisis korosi, metode elektrokimia, AlMg₂ dan AlMgSi

ABSTRACT

CORROSION ANALYSIS OF AlMg₂ AND AlMgSi USING ELCTROCHEMICALL METHOD. Corrosion test of cladding materials and structures of research reactor fuel, AlMgSi and AlMg₂ have been performed in demineralized water of pH 2 and 6.7 using an electrochemical method. Corrosion phenomena is affected by several factor such as composition and condition of solution. The purpose of this activity is to investigate the corrosion phenomena through the determination of the parameters of corrosion and polarization curve. The materials used are AlMg₂ and AlMgSi alloy in circular dish shape with an area of 1 Cm². Preparation of the test sample is performed through several stages polishing, cleaning and drying procedures followed ASTM G3. The electrochemical method is done by measuring the open circuit potential (OCP), polarization resistance and potentiodynamic in demineralized water of pH 2 and pH 6.7 at temperature of 25°C. The results of the OCP is the corrosion potential (*E_{corr}*) of AlMg₂ and AlMgSi each of -906.1 mV and -619.8 mV at pH 2 and -868.6 and -756.7 mV at pH 6.7 mV. The results of measurements by polarization resistance technique showed that the corrosion rate of AlMg₂ and AlMgSi in safe category (<2mpy) at pH 6.7 and at pH 2 corrosion rate increased significantly, but

still in the lightweight category (<20 mpy). Potentiodynamic curves showed that the passivation at pH 6.7 is very low while the passivation at pH 2 occurs within a relatively short range potential and followed events corroded.

Keyword: corrosion analysis, metode elektrokimi, AlMg₂, AlMgSi.

PENDAHULUAN

Kelongsong dan bahan struktur merupakan komponen elemen bahan bakar nuklir yang bersentuhan langsung dengan lingkungan dalam waktu yang cukup lama, selama operasi reaktor dan selama penyimpanan setelah dari keluar reaktor. Dalam periode waktu tersebut dimungkinkan bahan kelongsong dan bahan struktur akan mengalami degradasi kualitas atau kerusakan akibat terjadinya reaksi kimia pada permukaan bahan logam dengan lingkungan, yang dikenal dengan peristiwa korosi. Bila hal ini terjadi maka akan berdampak pada keselamatan dan keamanan selama operasi reaktor, diantaranya adalah kegagalan pada fungsi kelongsong yaitu terjadinya pelepasan radionuklida hasil fisi ke lingkungan. Oleh karena itu, salah satu persyaratan bahan yang akan digunakan sebagai bahan dalam elemen bahan bakar nuklir adalah tahan korosi atau memiliki sifat ketahanan korosi tinggi.

Aluminium merupakan bahan yang banyak digunakan dalam berbagai industri karena memiliki beberapa kelebihan seperti densitas rendah (ringan), kekuatan dan *ductility* yang baik serta ketahanan korosi tinggi. Sifat ketahanan korosi tinggi disebabkan adanya fenomena pasivasi, yaitu pembentukan lapisan (oksida) akibat reaksi logam dengan media dan bertindak sebagai pelindung bagian dalam logam dari korosi selanjutnya. Lapisan oksida sangat kuat dan rapat pada permukaan dan sangat stabil pada pH 4 sampai 8,5 [1]. Dalam industri nuklir, aluminium yang digunakan dalam bentuk paduan dengan menambahkan unsur Mg, dan Mg,Si sebagai bahan kelongsong dan bahan struktur pada elemen bahan bakar reaktor

riset U₃Si₂-Al. Penambahan unsur Mg maupun Si pada matrik Al dimaksudkan untuk meningkatkan sifat kekuatan mekanik tetapi disisi lain berdampak pada penurunan sifat ketahanan korosi [2]. Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan studi fenomena korosi dengan metode elektrokimia terhadap paduan Al dengan kandungan Mg bervariasi mulai 3% sampai 30% dalam media NaCl 3,5% dan H₂SO₄ 0,1M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan Mg di dalam matrik Al maka semakin rentan paduan terhadap korosi, fakta ini berdasarkan besaran parameter kinetika yang diperoleh seperti potensial korosi, laju korosi dan konstanta katoda dan anoda [3]. Pustaka [4,5] menyatakan bahwa Mg dalam Al matrik dalam bentuk larut padat dan mencapai keseimbangan pada kandungan Mg sekitar 1,9%. Bila kandungan Mg lebih besar dari nilai tersebut maka Mg dalam matrik Al membentuk β -phase (Al₅Mg₂) yang terdistribusi pada batas butir dan partikel tersebut bersifat anodik dibanding dengan matrik Al sehingga mudah terjadi korosi tipe sumuran. Sementara itu, bila kandungan Mg \leq 1,9%, partikel β -phase (Al₅Mg₂) tidak terbentuk dan kemungkinan korosi yang terjadi lebih rendah. Sertifikat bahan AlMg₂ dan AlMgSi mencantumkan kandungan Mg sebesar 1,7% dan 1,2% [6]. Untuk mengetahui kemungkinan tersebut maka pada penelitian ini akan dilakukan studi fenomena korosi paduan AlMg₂ dan AlMgSi, dalam media air dengan pH 6,7 sesuai kondisi air reaktor dan pH 2 pada kondisi abnormal akibat penurunan kualitas air kemungkinan disebabkan adanya pelarutan logam-logam impuritis dari pipa atau debu yang jatuh kedalam kolam reaktor. Salah satu jenis impuritis yang dominan adalah ion klorida (Cl⁻) [7].

Analisis fenomena korosi paduan AlMg₂ dan AlMgSi pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode elektrokimia dengan teknik polarisasi. Metode ini memiliki beberapa keuntungan, antarlain adalah mudah, cepat dan sensitive. Metode elektrokimia dengan teknik polarisasi dapat mempelajari fenomena korosi melalui penentuan parameter korosi yaitu potensial korosi, tahanan korosi, arus korosi, laju korosi dan perilaku korosi melalui penentuan kurva polarisasi (E vs log I).

TATA KERJA

Bahan uji berupa potongan paduan AlMg₂ dan AlMgSi berbentuk *circular dish* dengan luas 1,7 cm². Pelarut yang digunakan sebagai media korosi adalah air demineral dengan ph 6,7 dan pH 2. Pengaturan pH dilakukan dengan menambah larutan HCl 37 % beberapa tetes sampai pHmeter menunjukkan angka ± 2 . Kertas amplas untuk penghalus permukaan sampel digunakan dengan ukuran 1200 mesh, sedangkan pembersih permukaan sampel adalah alkohol dan air demineral.

Alat uji korosi adalah potensiostat yang dihubungkan dengan sel korosi. Sel korosi berisi larutan sebanyak 600 mL demineral dengan 3 buah elektrode yaitu *Saturated Calomel Electrode* (SCE) sebagai elektrode acuan, elektrode bantu dari grafit sebanyak 2 buah dan elektrode kerja (*working electrode*). Elektrode kerja adalah sampel AlMg₂ dan AlMgSi yang telah *dimounting* menggunakan resin *epoxy* dan disolder dengan kawat tembaga untuk koneksi sistim elektrik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar.1. Elektrode kerja

Sebelum dilakukan uji korosi terlebih dahulu dilakukan pengukuran *Open Circuit Potential* (OCP) dengan membiarkan sampel dalam larutan selama waktu tertentu hingga tercapai kondisi *steady state*, yang ditunjukkan oleh nilai potensial sistim logam- pelarut konstan terhadap waktu. Potensial pada kondisi *steady state* adalah potensial korosi, *E_{corr}* dan selanjutnya nilai *E_{corr}* tersebut digunakan sebagai acuan dalam pengambilan daerah kerja pada teknik pengukuran polarisasi.

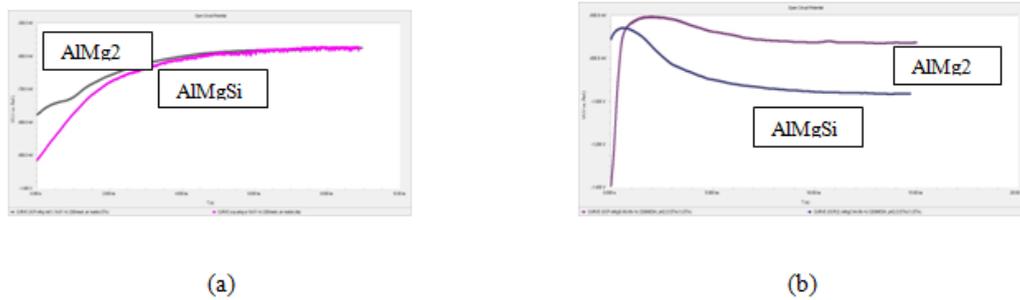
Pengukuran tahanan polarisasi dilakukan untuk mengetahui ketahanan oksidasi suatu logam dengan pemberian potensial luar sebesar ± 10 mV terhadap *E_{corr}* dengan kecepatan 0,25 mV/det. Pengukuran potensiodinamik dilakukan untuk mengetahui perilaku aktif- pasif suatu logam pada daerah potensial ± 1000 mV terhadap *E_{corr}* dengan kecepatan 0,5 mV. Semua kegiatan pengukuran dilakukan pada suhu kamar, 25°C. Pengolahan data menggunakan *software* ECHEM-Gamry. Rangkaian alat pengujian korosi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Rangkaian peralatan uji korosi

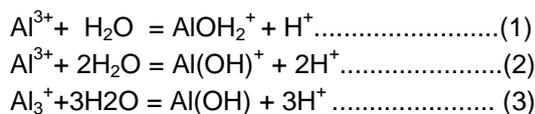
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran *open circuit potential* paduan AlMg₂ dan AlMgSi dalam larutan dengan ph 6,7 dan pH 2 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva OCP paduan AIMg2 dan AIMgSi, pada pH 6,7 (a) dan pH 2 (b)

Gambar 3 menunjukkan bahwa kurva OCP AIMg2 dan AIMgSi baik pada pH 6,7 maupun pada pH 2 terlihat berbeda, dalam hal waktu mencapai kondisi steady state, bentuk kurva dan nilai potensial korosi, E_{corr} . Kondisi *steady state* AIMg2 dan AIMgSi dalam larutan air demineral pH 6,7 tercapai dalam waktu 5000 detik setelah pencelupan dan pada pH 2 dalam waktu 10000 detik. Hal ini disebabkan pada pH 2 kemungkinan reaksi yang terjadi selain reaksi elektrokimia juga terjadi reaksi koordinasi permukaan karena adanya kenaikan ion H^+ pada larutan dengan keasaman rendah. Reaksi koordinasi permukaan seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi sbb^[8] :



Kurva OCP AIMg2 dan AIMgSi pada pH 6,7 dan pH 2 terlihat berbeda mulai dari saat pencelupan sampai mencapai kondisi *steady state*, yang disebabkan beberapa faktor diantaranya adalah komposisi kimia^[9]. Unsur paduan Mg dan Si yang terkandung dalam paduan AIMg2 adalah 1,7-2,4% dan Si < 0,3% dan dalam AIMgSi adalah Mg < 1,2 % dan Si 0,7 – 1,3%. Pada kondisi pelarut pH 7,6 terlihat kenaikan potensial ke arah elektropositif dan pada pH 2 terjadi penurunan potensial. Fenomena ini menunjukkan adanya pasifasi lapisan Al_2O_3 awal pencelupan (*pre-immersion*) pada pH 6,7 dan penipisan lapisan lindung Al_2O_3 . Nilai potensial korosi, E_{corr} paduan AIMg2 dan AIMgSi pada pH 6,7 dan pH 2, seperti yang tercantum pada Tabel.2.

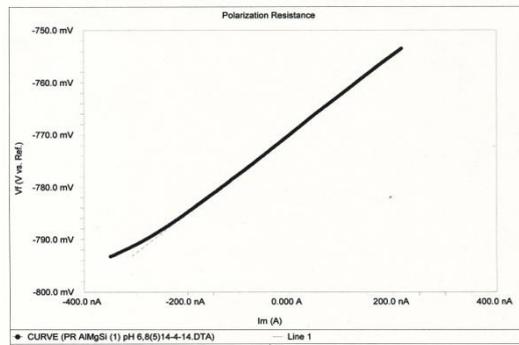
Tabel.2. Potensial korosi, E_{corr} dari paduan AIMg2 dan AIMgSi

Sampel	Potensial korosi, E_{corr} (mV)	
	pH 6,7	pH 2
AIMg2	- 649,8	- 906,1
AIMgSi	- 758,7	- 868,6

Nilai E_{corr} kemudian digunakan sebagai acuan dalam pengukuran tahanan polarisasi (*polarization resistance*), dan

potensiodinamik. Pengukuran tahanan polarisasi dilakukan pada daerah potensial $\pm 10mV$ terhadap E_{corr} dan hasil

pengukuran berupa grafik linier hubungan potensial dan arus korosi (I_{corr} , μA), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva hubungan potensial vs arus korosi

Tahanan polarisasi (R_p) ditentukan dari kemiringan (slope) garis linier dengan pengambilan 2 (dua) titik dengan $I_{corr} = 0$ di dalamnya. Nilai R_p tersebut kemudian dikonversi menjadi kerapatan arus (I_{corr}) melalui persamaan Stern-Geary sbb :

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2.3 R_p (\beta_a + \beta_c)} \dots \dots \dots (4)$$

- dengan I_{corr} = kerapatan arus korosi, Ma
- R_p = tahanan polarisasi
- β_{anodic} = koefisien kurva anodik (0,12 mV)
- $\beta_{katodik}$ = koefisien kurva katodik (0,12 mV)

Nilai I_{corr} yang diperoleh digunakan dalam perhitungan laju korosi (CR) dengan persamaan:

$$CR = \frac{k \cdot I_{corr} \cdot EW}{DA} \dots \dots \dots (5)$$

- dengan CR = laju korosi, mpy
- I_{corr} = Kerapatan arus, mA
- EW = Berat ekuivalen, AIMg2 (27,3)
- D = densitas, gram/cm³ AIMg2 (7,3)
- A = luas sampel yang terkena proses korosi , cm²

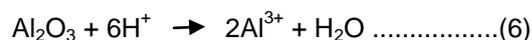
Nilai I_{corr} dan laju korosi (CR) diperoleh melalui substitusi nilai R_p pada persamaan 4 dan 5. Keseluruhan perhitungan tersebut dilakukan menggunakan software ECHEM dan hasil yang diperoleh beberapa parameter kinetika korosi, seperti yang tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Laju korosi AIMg2 dalam media air demineral pH 2 dan pH 6,7

Sampel	AIMg2				AIMgSi			
	E_{corr}	R_p	I_{corr}	Laju korosi (CR)	E_{corr}	R_p	I_{corr}	Laju korosi
pH	(mV)	k Ω	(μA)	(mpy)	(mV)	k Ω	(μA)	(mpy)
2	-906,1	3,446	7,36	5,695	-868,6	2,028	12,85	9,68
6,7	-649,8	334,4	7,790 10 ⁻⁸	0,0224	-758,7	79,14	3,2920 10 ⁻⁷	0,2287

Tabel 2 menunjukkan bahwa secara kuantitatif parameter kinetika korosi AlMg2 dan AlMgSi berbeda cukup signifikan pada pelarut dengan pH 2 dan pH 6,7. Laju korosi AlMg2 diperoleh lebih rendah dari pada laju korosi AlMgSi. Hal ini disebabkan kandungan unsure Mg dan Si dalam paduan AlMgSi sesuai untuk terjadinya pembentukan fase (Mg₂Si). Partikel Mg₂Si yang bersifat anodik dalam matrik-Al sehingga cenderung mudah terkorosi dengan tipe intergranular [2]. Pada Tabel 2 terlihat bahwa arus korosi, I_{corr} paduan AlMg2 dan AlMgSi pada pH 6,7 sangat kecil sehingga laju korosi yang diperoleh sangat rendah dan berdasarkan *National Association of Corrosion Engineers* (NACE, 1985) dalam kategori aman [10]. Hal ini sesuai dengan yang dinyatakan pada diagram Pourbaix (electrode potensial, V SHE) dengan pH bahwa Aluminium dan paduan Al imun pada daerah pH dalam kisaran 4- 8,5. Hal ini disebabkan adanya lapisan oksida, Al₂O₃ pada permukaan logam yang stabil dan terikat kuat, sehingga dapat melindungi logam bagian dalamnya dari korosi. Korosi mulai terjadi bila kondisi pelarut berada pada pH diluar daerah imun tersebut.

Hal ini dibuktikan dari hasil pengukuran paduan AlMg2 dan AlMgSi dalam air demineral dengan pH 2, seperti yang tercantum pada Tabel 2. Kenaikkan laju korosi AlMg2 maupun AlMgSi pada pH 2 dibanding pH 6,7 cukup signifikan. Hal ini disebabkan pada larutan pH 2 terjadi peningkatan ion H⁺, yang mengakibatkan peningkatan pelarutan logam menjadi Al³⁺ yang mudah larut, dengan reaksi sbb [11]:

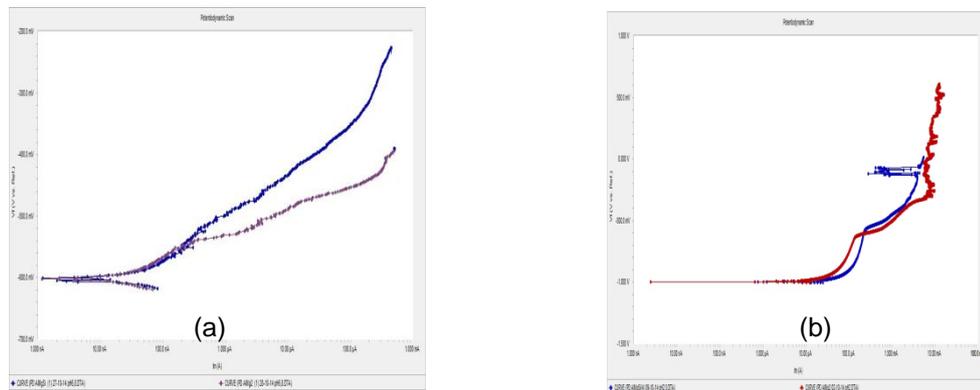


Ion Al³⁺ sangat mudah dalam air. Bila ada ion khlorida (Cl) maka reaksi sbb [11,12].



Dalam kondisi ini lapisan hidroksida tidak kuat terikat pada permukaan smenyebabkan matrik Al mudah terkorosi.

Pengukuran potensiodinamik bertujuan untuk mengetahui perilaku aktif- pasif suatu logam dengan cara memberikan potensial luar sekitar 1000 mV terhadap E_{corr} . Hasil pengukuran potensiodinamik AlMg2 dan AlMgSi ditunjukkan pada Gambar.5.



Gambar 5. Kurva potensiodinamik AIMg2 dan AIMgSi, pH 6,7 (a) dan pH 2 (b)

Gambar 5 (a) menunjukkan pola kurva polarisasi anodik bahan AIMg2 dan AIMgSi pada pH 6,8 relatif sama. Pada potensial diatas E_{corr} terjadi kenaikan arus korosi dan ini menunjukkan adanya reaksi oksidasi pada logam hingga sekitar potensial -500 mV. Pada potensial tersebut perubahan arus atau laju korosi berlangsung agak cepat. Potensial dari -500 mV sampei dengan -350 mV kenaikan arus korosi relatif lebih kecil dibanding sebelumnya. Hal ini dapat disebabkan adanya sedikit penghalang yaitu oksida alumunium (Al_2O_3) yang terbentuk pada awal reaksi oksidasi sehingga reaksi oksidasi selanjutnya berlangsung lebih lambat. Pada larutan dengan pH 6.8 tidak terlihat secara jelas daerah pasif tetapi yang terlihat adalah reaksi oksidasi yang berlangsung lambat ditandai dengan kanaan arus korosi yang kecil seperti yang tercantum pada Tabel 2. Kurva polarisasi pada pH 2 (Gambar 5b), terjadi reaksi oksidasi paduan AIMg2 dimulai dari E_{corr} sampai potensial - 900mV, setelah itu reaksi oksidasi berlangsung lebih lambat yang ditandai dengan perubahan arus korosi yang kecil pada potensial dari -900 mV hingga - 620 mV. Pada potensial -900 sampai -620 mV terjadi pasifasi akibat adanya lapisan oksida pada permukaan yang menghalangi reaksi selanjutnya. Akan tetapi pada interval potensial dari -620 sampai 500 mV terlihat kenaikan arus korosi relatif cepat, yang

ditandai dengan kurva yang landai. Hal ini disebabkan faktor lapisan pasif yang rusak, pada tegangan tinggi lapisan pasif yang kurang stabil menjadi pecah dan memicu adanya korosi yang lebih cepat. Paduan AIMgSi memiliki bentuk kurva yang relatif sama dengan AIMg2, namun berbeda dalam nilai potensial secara kuantitatif. Daerah oksidasi dimulai dari E_{corr} sampai dengan - 950 mV dan kemudian terjadi pasivasi sampai potensial - 500 mV. Selanjutnya kenaikan potensial mengakibatkan kerusakan pada lapisan pelindung Al_2O_3 . Kecepatan perusakan lapisan pelindung AIMgSi terlihat lebih cepat dari AIMg2

SIMPULAN

Analisis korosi paduan AIMg2 dan AIMgSi dalam media air demineral pH 2 dan pH 6,7 diperoleh dari pengukuran OCP dan teknik polarisasi yaitu tahanan polarisasi (*polarization resistance*), dan polarisasi potenssiodinamik. Hasil OCP mendapatkan nilai potensial korosi, E_{corr} paduan AIMg2 dan AIMgSi masing-masing sebesar -906,1 mV dan -619,8 mV pada pH 2 dan -868,6 mV dan -756,7 mV ada pH 6,7. Hasil pengukuran tahanan korosi berupa parameter korosi secara kuantitatif dan mendapatkan nilai laju korosi paduan AIMg2 dan AIMgSi dalam kategori aman

(<2 mpy) pada pH 6,7, sedangkan pada pH 2 diperoleh nilai laju korpsi meningkat cukup signifikan dan dalam kategori ringan (< 20 mpy). Kurva potensiodinamik menunjukkan bahwa pada pH 6,7 pasivasi relatif masih sangat rendah, sedangkan pada pH 2 terjadi pasivasi dalam kisaran potensial yang relatif pendek dan kemudian diikuti pecahnya lapisan pasif yang terjadi pada potensial tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Solveig Egtvedt, (2011). *Thermally Sprayed Aluminum (TSA) With Cathodic Protection As Corrosion Protection For Steel in Natural Seawater*, NTU, Material Science and Engineering.
2. Kemal Delijic, Bostjan Markoli, (2014). *The Influence of the chemical composition on the corrosion performance of a medium strength AlMgSi (6xxx) Type alloy*, Association of Metallurgical engineer of Serbia AMES
3. Vuelvals, S.Valdez, et al, (2012). *Effect of Mg and Mn Addition on The corrosion Behaviour of an Al-Mn Alloy in 0,5 M H₂SO₄*, International Journal Electrochemical Science, 7.
4. Endre-Romhaji, et al. *Problem and Prospect of Al-Mg Alloys Application in Marine Constructions*, Association of Metallurgical Engineers of Serbia AMES
5. L.F. Mondofo, (1976). *Aluminum Alloy: Structure and Properties*, Butter Worths, London, Boston. Hal. 311-317.
6. Anonim, (1997), Sertificate of AlMg₂ and AlMgSi, Honse Walpzprodukte, GmbH, 59872 Menchede
7. Anonim, (2011). *Good Practise For Water Quality Management in Reseach Reactor and Spent Fuel Storage Facilities*, Technical Report, No.NP-T5-2
8. E.A. Abd El-Wahab, A.H. Marei, O. R.Khalifa AND H.A. Mohamed, (2010). *Corrosion Behavior of Aluminum Electrode in Absence and in Presence of Sodium Chloride at Different pH Solutions using Toludine as Inhibitor*, Journal of American Science, 6 (8), Chemistry department Faculty of Girls for Arts, Science & Education, Ain shams university. Cairo, Egypt.
9. Muna Khedier Abbas, Suhayla Noori Gareab (2005). *Effect of Heat Treatment on Microstructure and Corrosion Parameters of Alloys (Al-4%Cu) and (Al-4.1%Cu- 0.9%Mg)*, The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Special Issue (B)278
10. Andreas Yoppy Aprianto Prasetyo, (2012). *Korosi Aluminium Dalam Asam Citrat*, Jurnal Teknik Kimia Indonesia, Vol 11, No.2.
11. Layla Abdulkareem, et al (2005). *Corrosion of Al alloy in Citric acid, with out Sodium Chloride*, Chemistry Department, Saudi Arabia.
12. K.Jafarzadeh, et al, (2007). *Role Of Chloride Ion and Dissolved Oxygen in Electrochemical Corrosion of AA 5083-H321 Al-Mg Alloy in NaCl Solution Under Flow Conditions*, Journal Materials Scientific Technology, Vol. 23, No 5.