

ANALISIS LAJU KOROSI PADUAN ALUMINIUM FERONIKEL PADA pH BASA DENGAN POTENSIOSTAT

Andi Haidir¹⁾, Yanlinastuti²⁾, Anditania Sari Dwi Putri³⁾, Ely Nurlailiy⁴⁾

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, Banten Indonesia 15313

¹⁾ahaidir@yahoo.com

ABSTRAK

ANALISIS LAJU KOROSI PADUAN ALUMINIUM FERONIKEL PADA pH BASA DENGAN POTENSIOSTAT. Aluminium Feronikel (AlFeNi) adalah salah satu kandidat kelongsong alternatif masa depan karena mempunyai keunggulan, diantaranya dalam suasana netral dan normal, laju korosinya dapat diterima. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui laju korosi AlFeNi pada pH yang ekstrim sebagai langkah antisipatif untuk mencegah terjadinya kekritisan reaktor. Metode yang digunakan untuk karakterisasi korosi adalah metode Tahanan Polarisasi dan metode Tafel menggunakan potensiostat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pH 11,19 ; 12,41 ; 12,62; 12,76; laju korosinya bertambah seiring dengan naiknya pH. Untuk metode polarisasi resistensi diperoleh nilai laju korosi untuk masing-masing pH tersebut adalah 47,05 mpy ; 437,467 mpy ; 778,1 mpy ; 993,367 mpy . Sedang metode Tafel laju korosi berturut-turut 47,003 mpy ; 334,533 mpy ; 632,633 mpy 897,7 mpy. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya pH medium dalam sel uji korosi maka laju korosinya pun bertambah.

Kata kunci : Laju korosi, potensiostat, polarisasi resistensi, Metode Tafel.

ABSTRACT

ANALYSIS CORROSION RATE OF ALUMINIUM FERONICKEL IN BASE pH BY POTENSIOSTAT. AlFeNi is one alternative cladding for future because of its advantages. In neutral and normal condition, corrosion rate of AlFeNi can be accepted. However as may be necessary to determine the corrosion rate at pH extremes as anticipatory measures to prevent reactor criticality. The method is used to characterize corrosion such as polarization resistance method and Tafel method using potensiostat. From the results obtained indicate that the pH used the pH 11,19 ; 12,41 ; 12,62 and 12,71 corrosion rate increases. For the method of polarization resistance corrosion rate values obtained for each pH are : 47,05 mpy ; 437,467 mpy ; 778,100 mpy ; 933,367 mpy. Tafel method of corrosion rate were respectively : 47,003 mpy ; 334,533 mpy ; 632,633 mpy ; 897,7 mpy. It can be concluded that with increasing pH of the medium in the corrosion test cell corrosion rate is greatly increased.

Keywords : AlFeNi, corrosion rate, potensiostat, polarization resistance, Tafel Metode.

I. PENDAHULUAN

Paduan aluminium banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, dalam industri nuklir, paduan aluminium digunakan dalam komponen struktur, terutama sebagai bahan kelongsong elemen bakar nuklir. Saat ini paduan AlMg₂ digunakan sebagai kelongsong elemen bakar U₃Si₂ dengan tingkat muat uranium 2,96 g U/cm³. Dalam pengembangan selanjutnya diperlukan penelitian bahan kelongsong untuk bahan bakar dengan tingkat muat uranium tinggi. Kelongsong elemen bakar nuklir berfungsi untuk mengungkung keluarnya bahan nuklir dan hasil fisi ke pendingin primer yang terjadi saat reaksi nuklir di reaktor. Kelongsong bahan bakar nuklir harus memenuhi

persyaratan khusus seperti sifat mekanik yang baik, ketahanan korosi, sifat fisis dan kimia yang memadai serta mempunyai sifat penyerap neutron yang rendah [1].

Paduan AlFeNi merupakan alternatif bahan kelongsong untuk bahan bakar dengan densitas tinggi. Dari kajian terdahulu, bahan AlFeNi memiliki sifat kestabilan panas, sifat mekanik dan konduktivitas panas yang baik sehingga dipandang baik untuk digunakan sebagai kelongsong bahan bakar densitas tinggi. Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya diketahui bahwa laju korosi AlFeNi memiliki keberterimaan yang cukup baik [2].

Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya [3]. Korosi juga dapat diterjemahkan sebagai peristiwa alamiah yang terjadi pada bahan dan merupakan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam [4].

Di era modern saat ini logam aluminium banyak digunakan dalam pembuatan perabotan alat rumah tangga, kemasan makanan, alat-alat industri, konstruksi pesawat terbang hingga industri nuklir. Dalam industri nuklir, aluminium dan paduannya sering digunakan sebagai kelongsong elemen bakar nuklir, diantaranya adalah paduan AlMg₂. Sementara AlFeNi masih dalam tahap pengujian apakah layak untuk menggantikan AlMg₂ nantinya sebagai *cladding* bahan bakar reaktor riset atau tidak.

Pada penelitian ini akan diteliti perilaku korosi paduan AlFeNi pada rentang pH : 11,19 – 12,76. Hal ini perlu dilakukan mengingat bahwa pada keadaan tertentu, pH reaktor memungkinkan mengalami kenaikan yang tak terkontrol. Sebagai contoh dapat disebutkan adanya kenaikan pH hingga 11,20 pada reaktor Fukushima saat terjadi tsunami beberapa waktu yang lalu [5]. Sebagai langkah antisipatif dilakukan penelitian ini guna menghindari terjadinya kekritisitas yang dapat menimbulkan kerugian terhadap fasilitas yang ada maupun kehilangan atau kerugian terhadap sumber daya manusia yang mumpuni.

II. TEORI

Potensiostat digunakan sebagai alat elektronik pengatur perbedaan potensial antara elektroda kerja dan elektroda acuan. Selain itu digunakan pula elektroda bantu dari karbon. Ketiga elektroda berada dalam sel elektrokimia. Alat potensiostat ini mengatur dengan memasukkan arus ke dalam sel melalui elektroda pembantu. Hampir dalam semua penerapannya, potensiostat mengukur aliran arus antara elektroda kerja dan elektroda pembantu.

Variabel yang diatur dalam potensiostat adalah potensial sel dan variable yang diukur adalah arus sel. Potensiostat hanya dapat bekerja untuk sel elektrokimia yang terdiri

dari tiga elektroda [6]. Parameter korosi dapat diperoleh dengan menggunakan alat potensiostat. Metode yang digunakan adalah tahanan polarisasi dan metoda ekstrapolasi Tafel. 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 yang ditunjukkan pada Gambar 1 [7]. Arus korosi (I_{corr}) tidak dapat ditentukan secara langsung tetapi harganya dapat diketahui dengan melakukan ekstrapolasi terhadap kurva log arus versus potensial. Ekstrapolasi dilakukan dengan memilih kurva yang mengandung potensial korosi E_{corr} . E_{corr} didefinisikan sebagai potensial pada saat mana kecepatan total dari semua reaksi anodik seimbang dengan kecepatan total dari semua reaksi katodik. Perpotongan kurva hasil ekstrapolasi akan menghasilkan titik dengan koordinat (I_{corr} , E_{corr}). Dengan demikian kita dapat mengetahui harga arus korosi. Arus korosi yang terukur dari pertemuan garis ekstrapolasi (I_{corr}) dapat digunakan untuk menghitung laju korosi (*corr rate*) [8].

Ketahanan korosi diukur dengan menggunakan tahanan polarisasi untuk menghasilkan parameter tahanan polarisasi (R_p). Tahanan polarisasi digunakan untuk mengukur ketahanan specimen terhadap korosi dari suatu specimen ketika dihubungkan dengan sumber potensial eksternal. Fungsi utama dari R_p adalah untuk menghitung arus korosi (I_{corr}) yang selanjutnya digunakan untuk menghitung laju korosi. Persamaan berikut ini menunjukkan hubungan antara R_p , konstanta Tafel dan arus korosi (I_{corr}).

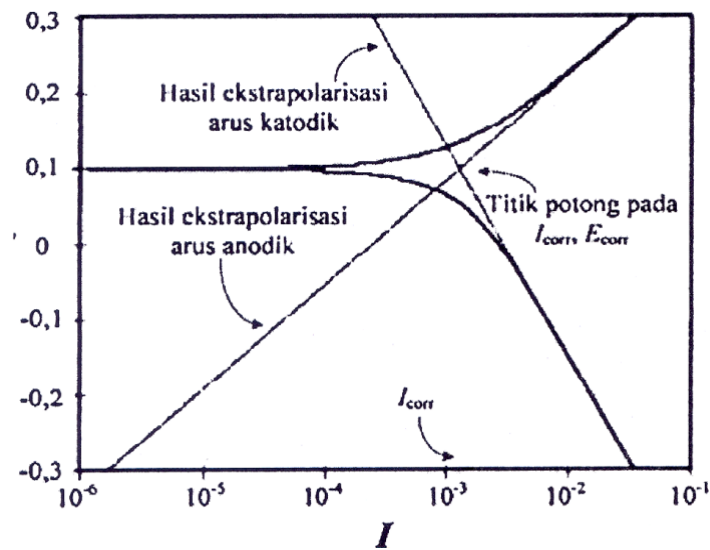
$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = R_p = \frac{\beta_a \beta_c}{2,3 (I_{corr}) (\beta_a + \beta_c)} \dots\dots\dots(1)$$

- Dengan : R_p = Slop Kurva Polarisasi
- β_a = Konstanta Tafel Anoda
- β_c = Konstanta Tafel Katoda
- I_{corr} = arus korosi
- 2,3 = log natural 10

Sesudah i_{corr} dihitung yang diperoleh melalui kurva Tafel (Gambar 1), laju korosi kemudian dihitung dengan menggunakan rumus ;

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = 0,13 \cdot I_{corr} \frac{EW}{A \cdot d} \dots\dots\dots(2)$$

- Dengan : mpy = mili-inch per year
- E_w = Berat ekivalen (g/ekivalen)
- A = area (cm^2)
- d = densitas (g/cm^3)
- 0,13 = faktor konversi



Gambar 1. Kurva Polarisasi Tafel [7]

III. METODE PENELITIAN

Alat :

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah : Potensiostat, computer dengan software Echem, pH meter, alat pemotong, alat *grinding*, alat pengering, alat-alat gelas, *magnetic stirrer*.

Bahan :

NaOH 0,1M ; Na₂B₄O₇.10H₂O 0,1M ; air bebas mineral ; alkohol dan kertas ampelas.

TATA KERJA

Persiapan Sampel

Spesimen dipotong melingkar dengan diameter ± 12 mm. Kemudian sampel dipreparasi dengan membuat pegangan sampel dari kawat yang dihubungkan dengan spesimen sehingga arus dapat mencapai spesimen. Selanjutnya sampel diampelas dimulai dari yang kasar hingga yang halus dengan grid 1200. Sesudah itu sampel dibersihkan dengan kertas tisu yang sebelumnya dicelup ke dalam alkohol, lalu dikeringkan dengan pengering kemudian dimasukkan ke dalam sel uji korosi.

Pembuatan larutan

Dengan menggunakan larutan Na₂B₄O₇.10H₂O 0,1M, NaOH 0,1M dan air bebas mineral, larutan dibuat dengan pH bervariasi yakni pH 11,19 ; 12,41 ; 12,62 ; 12,76, nilai pH ditentukan dengan bantuan alat pH meter.

Pengujian Korosi [8]

Penentuan laju korosi dan pengamatan fenomena korosi dilakukan setelah kondisi sistem mencapai kondisi *steady state* yaitu terjadinya reaksi keseimbangan antara bahan paduan dan larutan. Hal ini dilakukan melalui *scan* potensial terhadap waktu dengan menggunakan cara *Open Circuit Potential* dengan kecepatan 0,5 mV/detik, selama periode waktu tertentu. Kondisi *steady state* tercapai bila nilai potensial diperoleh konstan terhadap waktu. Nilai potensial pada keadaan *steady state* adalah nilai potensial korosi., E_{corr} . Pada kondisi ini, selanjutnya dilakukan pengukuran laju korosi menggunakan metode *polarization resistance* pada daerah ± 10 mV terhadap potensial korosi dengan kecepatan 0,25 mV/s. Pengamatan fenomena korosi dilakukan pada larutan dengan pH bervariasi (11,19 ; 12,41; 12,62; 12,76) menggunakan metode Tahanan polarisasi dan Tafel Plot dengan potensial ± 25 mV dari nilai E_{corr} .

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

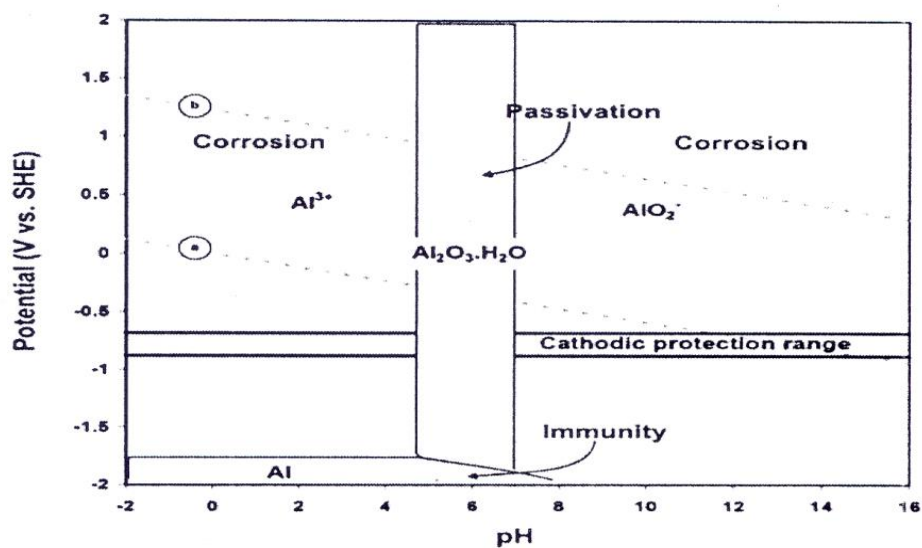
Arus yang terukur seperti pada Tabel 1 merupakan arus total. Bila suatu potensial yang tidak sama dengan E_{corr} diberikan pada suatu sistem maka akan terjadi polarisasi sehingga terjadi reaksi reduksi dan oksidasi. Dengan demikian I_{red} dan I_{oks} pada E_{corr} dapat ditentukan. Arus ini disebut arus korosi yang sebanding dengan laju korosi. Sesuai dengan persamaan (1), besarnya arus korosi pada setiap spesimen pada Tabel 1 akan bertambah seiring dengan bertambahnya pH medium dalam sel korosi. Pada Tabel 1 tampak bahwa arus korosi bertambah dengan bertambahnya pH. Ini sesuai dengan persamaan (2) di atas. Sementara E_{corr} mengalami penurunan seiring bertambahnya pH larutan. Pada pH 11,19 E_{corr} nya adalah -1,162V untuk tahanan polarisasi dan -1,15 untuk Tafel. Pada pH 12,41 ; 12,62 ; dan 12,76 potensialnya turun secara berturut-turut : -1,2366V ; -1,2680V dan -1,2930V. Hal yang sama juga berlaku dengan menggunakan metode Tafel, yakni -1,248V ; -1,264V dan -1,294V.

Dari hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa AlFeNi pada pH netral dan medium air bebas mineral mempunyai laju korosi yang dapat diterima [2]. *National Association of corrosion Engineers* [10] menyepakati bahwa korosi dapat diabaikan jika laju korosi bernilai kurang dari 0,0508 mm/tahun (2 mpy). Korosi “ringan” dikategorikan pada laju kurang dari 0,5080 mm/tahun (20 mpy) “sedang” dalam rentang laju 0,508-1,270 mm/tahun (20-50 mpy) dan “parah” jika laju korosinya lebih besar dari 1,270 mm/tahun (50 mpy) [11]. Dalam kenyataannya [12] logam sulit dibuat betul-betul homogen karena memiliki fase-fase yang berbeda, adanya pengotor dan cara preparasi yang memodifikasi struktur dan sifatnya. Akibatnya akan terjadi perbedaan-perbedaan

potensial yang dapat menimbulkan korosi (adanya anoda, katoda, elektrolit dan konduktor) dalam butir-butir dalam logam tersebut. Proses korosi pada logam adalah peristiwa spontan yang berlangsung bersamaan dengan adanya elektron yang mengalir di dalam logam. Semakin banyak elektron dari anoda ke katoda maka arus yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Semakin tinggi arus yang dihasilkan maka laju korosi juga semakin tinggi. Fenomena ini dapat terlihat pada Tabel 1 di bawah ini :

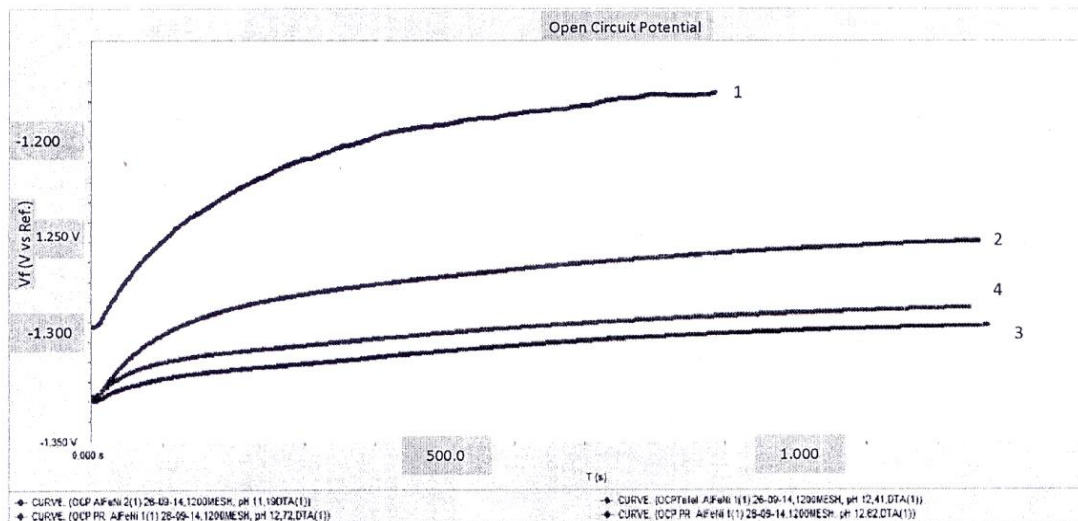
Tabel 1. Parameter korosi hasil uji dengan potensiostat

Metode Uji	pH larutan Uji	I _{corr} (mA)	E _{corr} (V)	R _p (ohms)	Laju Korosi (mpy)
Tahanan Polarisasi	11,19	0,1351	-1,1620	193,2000	47,0500
	12,41	1,2560	-1,2366	20,7467	437,4670
	12,62	2,2340	-1,2680	11,7070	778,1000
	12,76	2,6800	-1,2930	9,7210	933,3670
Tafel	11,19	0,1349	-1,1500	-	47,0030
	12,41	0,6106	-1,2480	-	334,5330
	12,62	1,8167	-1,2640	-	632,6330
	12,76	2,5770	-1,2940	-	897,7000



Gambar 2. Diagram Korosi E-pH aluminium pada suhu 25°C

Pada gambar 2 di atas, nampak bahwa pH media korosif yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pH 11,19 – 12,76 memang bersifat korosif dengan potensial di atas -0,5V dan tidak mengalami pasivasi karena fenomena pasivasi terjadi pada pH antara 5 dan 7

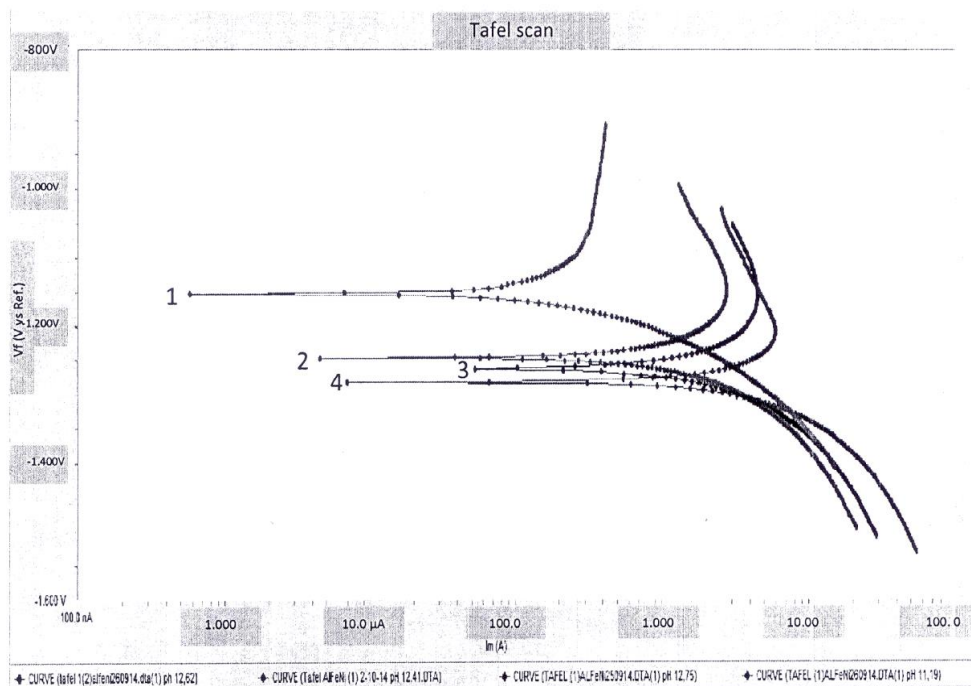


Gambar 3 Kurva Open Circuit Potensial (OCP) terhadap waktu untuk sampel AIFeNi pada berbagai pH

Keterangan Gambar

1. Medium korosif dengan pH = 11,19
2. Medium korosif dengan pH = 12,41
3. Medium korosif dengan pH = 12,62
4. Medium korosif dengan pH = 12,76

Pada Gambar 3, sampel yang menggunakan medium korosif dengan pH = 11,19 mempunyai potensial bebas yang lebih tinggi atau mendekati nilai positif, berbeda jauh dengan pH 12,41 ; 12,62 ; dan 12,76. Dari segi waktu antara pH 11,19 dengan pH lainnya, maka OCP pH 11,19 lebih cepat tercapai dibandingkan ketiga medium lainnya. Boleh jadi ini disebabkan karena ketiga medium lainnya itu memiliki perbedaan pH yang relatif lebih besar terhadap medium pertama (pH 11,19) Sementara pada pH 12,41 ; 12,62 dan 12,76 potensial bebasnya relatif sama dan waktu ketercapaian OCP juga relatif sama. Untuk sampai pada sebelum pengukuran dimulai, spesimen direndam dalam sel elektrokimia dibiarkan beberapa menit agar interaksi muka spesimen dengan larutan mencapai keadaan tunak (*steady state*). Tercapainya keadaan ini ditunjukkan oleh nilai OCP yang menyatakan hubungan potensial sel sebagai fungsi waktu sudah menunjukkan nilai konstan < 0,1 mV/menit [13]

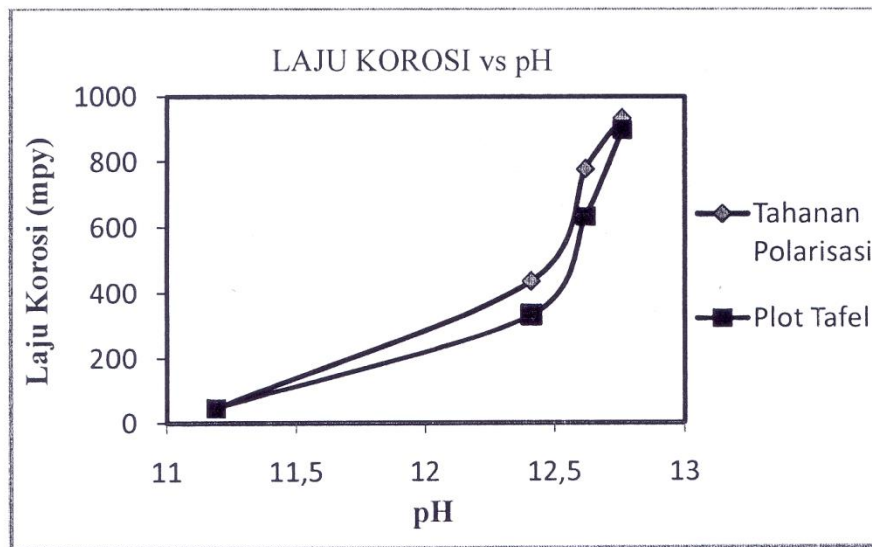


Gambar 4 Kurva polarisasi Tafel untuk sampel AlFeNi pada berbagai pH

Keterangan Gambar

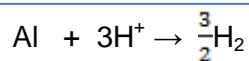
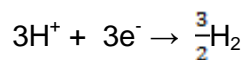
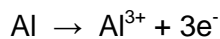
1. Medium korosif dengan pH = 11,19
2. Medium korosif dengan pH = 12,41
3. Medium korosif dengan pH = 12,62
4. Medium korosif dengan pH = 12,76

Setelah pengujian dengan teknik tahanan polarisasi, sampel kemudian diuji dengan menggunakan teknik polarisasi Tafel. Dari gambar 4, tampak bahwa sampel dengan medium pH = 11,19 mempunyai potensial bebas yang paling tinggi sehingga relatif sulit bereaksi (teroksidasi) dibandingkan medium dengan pH 12,41 ; 12,62 dan 12,76. Karena itu maka laju korosinya pun lebih kecil dibandingkan lainnya. Kurva Tafel dengan nomor 1 nampak terpisah dengan kurva Tafel dengan nomor 2,3 dan 4, hal ini disebabkan karena pH medium korosinya juga agak jauh dibandingkan medium ke 2, 3 dan 4. Pada Gambar 4 juga tampak dengan jelas kurva Tafel dari medium ke 2,3 dan 4 saling berdekatan, hal ini disebabkan oleh perbedaan pH medium yang tidak terlalu jauh. Dari hasil ekstrapolasi dapat diketahui bahwa laju korosi medium dengan pH 11,19 terendah dibandingkan medium dengan pH 12,41 ;12,62 dan 12,76. Dari kurva tersebut juga terlihat bahwa semakin tinggi pH semakin besar arus korosinya. Dengan demikian maka dengan bertambahnya arus korosi maka laju korosi juga bertambah karena menurut persamaan (2) arus korosi berbanding lurus dengan laju korosi.

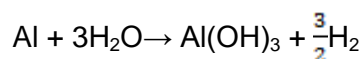


Gambar 5 Pengaruh pH terhadap Laju korosi AlFeNi pada berbagai pH

Pada saat logam paduan aluminium dicelupkan dalam sel uji korosi dengan pH 11,19 saat itulah mulai timbul reaksi. Kemungkinan reaksi yang terjadi adalah reaksi oksidasi reduksi seperti berikut ini [13] :

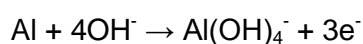


atau :



Reaksi ini diiringi oleh suatu perubahan dalam bilangan oksidasi pada aluminium. Dari 0 di dalam logam berubah menjadi bilangan oksidasi alumina (+3). Dengan pertukaran elektron, maka aluminium kehilangan 3 elektron yang diambil oleh 3H^{+} .

Pada kondisi media basa (pH 10) aluminium akan terlarut sebagai larutan aluminat $\text{Al}(\text{OH})_4^{-}$ dengan reaksi :



$\text{Al}(\text{OH})_4^{-}$ ekuivalen dengan AlO_2^{-} yang mudah larut dalam media air. Fakta ini menunjukkan bahwa metode pengukuran yang diperoleh sesuai dengan pernyataan pustaka [10]. Suatu keniscayaan pada reaktor digunakan pH yang bersifat netral karena pada pH tersebut laju korosi berada pada titik terendah. Namun pada penelitian ini dipilih pH dengan konsentrasi tinggi mulai dari pH 11,19 – 12,76 hal itu dimaksudkan agar fenomena korosi yang tampak lebih jelas selain juga untuk mengetahui secara

pasti seberapa besar laju korosi itu terjadi pada kelongsong ketika suatu saat kondisi reaktor berada dalam kekritisasi di luar kendali operator. Dan dari hasil analisis yang dilakukan telah diketahui secara jelas bahwa medium korosif dengan pH 11,19 memberikan nilai laju korosi yakni 47,05 mpy dengan tahanan polarisasi dan 47,003 mpy dengan metode Tafel. Angka ini sangat tinggi dibandingkan pH normal [2]. Angka tersebut akan bertambah secara signifikan ketika pH dinaikkan menjadi 12,41 ; 12,62 dan 12,76 laju korosinya menjadi 437,467 mpy ; 778,1 mpy ; 933,367 mpy (tahanan polarisasi) dan 334,533 mpy ; 632,633 mpy ; 897,700 mpy (metode Tafel).

V. KESIMPULAN

Dengan menggunakan pH medium korosif sebesar berturut-turut 11,19 ; 12,41 ; 12,62 ; dan 12,76 diperoleh laju korosi yang meningkat baik dengan metode Tahanan Polarisasi maupun dengan metode Tafel. Dengan metode Tahanan Polarisasi secara berurutan adalah 47,05 mpy ; 437,467 mpy ; 778,1 mpy dan 933,367 mpy, dan metode Tafel adalah : 47,003 mpy ; 437,467 mpy ; 778,1 mpy ; dan 933,367 mpy. Menurut standar yang dikeluarkan oleh *National Association of Corrosion Engineers* [9], laju korosi pada pH 11,19 dinilai sedang karena dibawah 50 mpy, sementara pH 12,41 ; 12,62 dan 12,76 laju korosinya dianggap “parah” karena diatas 50 mpy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Bapak Ir. Sungkono, MT selaku Kepala Bidang Uji Radiometalurgi PTBBN atas masukan yang diberikan untuk perbaikan makalah ini, Bapak Ir. Husna Al Hasa, M.Sc. atas sampel yang disediakan, Sdr. Maman Kartaman, ST dan Sdr. Yanlinastuti, S.Si yang telah membantu dalam melaksanakan penelitian ini semoga segala bantuan yang diberikan dibalasi Allah dengan pahala yang berlipat ganda, Amin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aslina Br Ginting, “Reaksi Termokimia Paduan AlFeNi dengan Bahan Bakar U_3Si_2Al ” Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir, PTBN-BATAN 2008, No ISSN 1907-2635.
- [2] Andi Haidir, et al., “Aplikasi Metode Elektrokimia untuk Pengukuran Laju Korosi Paduan AlFeNi”, Prosiding Seminar Pengelolaan Perangkat Nuklir PTBN-BATAN, Serpong 11 September 2007.

-
- [3] Trethewey, K.R. & Chamberlain, J."Korosi" Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama, 1991.
- [4] Supriyanto, "Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi pada Baja Karbon Rendah" Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2007.
- [5] Wikipedia the free encyclopedia, "Fukushima Daichi Nuclear Disaster (Unit 3 Reactor)" 2013.
- [6] Fachmi Hasan Bakran, "Pengaruh Nitridasi Terhadap Laju Korosi Pada Baja KS01" Departemen Fiusika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, 2011 Hal 4.
- [7] Fontana Mars G., "Corrosion Engineering" third edition, published by Mc Graw Hill, International 1987.
- [8] Dian Anggraini, et.el, Uji Korosi Terhadap Bahan AlMg2 dan AlMgSi Menggunakan Metode Elektrokimia dan Gravimetri, Bunga Rampai Hasil Penelitian Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir Tahun 2013,
- [9] Eddy Djatmikol, et al, "Analisis Laju Korosi Dengan Metode Polarisasi dan Potensiodinamik Bahan Baja SS 304L, Prosiding Seminar Nasional ke 15 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Surakarta 17 Oktober 2009 ISSN : 0854-2910 Kal 184.
- [10] National Association of Corros Engineers "Corrosion Data Survey, Metals Section, Sixth Edition, An official NACE Publication, Texas, 1985 ; hal 40-41.
- [11] Andreas Yoppy Aprianto, et al, "Korosi Aluminium dalam Larutan Asam Sitrat", Kelompok Keahlian Energi dan System Pemrosesan Teknik Kimia Program Studi Teknik Kimika, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung, Jurnal Teknik Kimia Indonesia, Vol. 11, No 2, 2012, 116-123, hal 116-122.
- [12] Tiurlina Siregar, "Laju Korosi dan Mekanisme Inhibisi Aluminium Murni Menggunakan Kalium dan Kalsium Stearat" Universitas Cenderawasih, Kampus UNCEN Jayapura-Papua Hal 114. 2010.
- [13] Fitri Puspitasari,"Perlindungan Korosi Baja Karbon dalam Lingkungan sesuai Kondisi Pipa Pengeboran Minyak Bumi Menggunakan Bawang Putih (*Allium Sativum* L) sebagai Alternative Inhibitor" Universitas Pendidikan Indonesia, Thesis S-1 Program Studi Kimia Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UPI 2013 hal 27.

