

APLIKASI METODE ELEKTROKIMIA UNTUK PENGUKURAN LAJU KOROSI PADUAN AlFeNi *)

Andi Haidir, M.Husna Al Hasa, Yatno Dwi Agus

Bidang Bahan Bakar Nuklir

ABSTRAK

APLIKASI METODE ELEKTROKIMIA UNTUK PENGUKURAN LAJU KOROSI PADUAN AlFeNi. Paduan AlFeNi merupakan bahan yang dikembangkan sebagai bahan struktur *cladding* untuk membungkus bahan bakar reaktor riset. Fe sebagai salah satu komponen penting dalam AlFeNi dapat mempengaruhi sifat-sifat mekanik maupun korosi. Untuk itu dibuat paduan AlFeNi dengan kandungan Fe yang variatif. Oleh karena korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia maka penetapan laju korosinya dapat dilakukan secara elektrokimia. Potensiostat merupakan salah satu alat yang menggunakan prinsip elektrokimia untuk penentuan laju korosi. Metode yang digunakan adalah Polarisasi Resistensi dengan menggunakan medium air demin dengan pH 6,7 dan temperatur 48°C sampai dengan 50°C. Metode elektrokimia dengan alat potensiostat terbukti dapat diaplikasikan untuk menentukan laju korosi AlFeNi. Diperoleh laju korosi dan arus korosi masing-masing, paduan A : (Fe 1,5% ; Ni 1,0 %, Al 97,5%) 0,0511 mpy dan 0,1125 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Paduan B (Fe 2%, Ni 1,0%, Al 97,0%) 0,0540 mpy dan 0,1187 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Paduan C (Fe 3,0 %, Ni 1,0%, Al 96,0%) 0,0880 mpy dan 0,1937 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Paduan D (Fe 2,0%, Ni 1,5%, Al 96,5%) 0,0100 mpy dan 0,1870 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. Paduan E (Fe 2,5%, Ni 1,5%, Al 96,0%) 0,3691 mpy dan 0,8622 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Kata kunci : Metode elektrokimi, laju korosi, AlFeNi.

PENDAHULUAN

Dalam sebuah lingkungan yang ekstrim logam dapat mengalami degradasi atau penurunan kualitas. Hal itu disebabkan adanya interaksi yang kondusif antara permukaan logam dengan media sekitarnya.

Logam apapun, cepat atau lambat akan mengalami korosi yang pada akhirnya dapat menimbulkan kerugian. Besar kecilnya kerugian tersebut tergantung seberapa jauh korosi telah berlangsung pada logam tersebut.

Termasuk dalam industri nuklir, elemen bakar dapat mengalami kegagalan saat *cladding* yang digunakan mengalami kebocoran sehingga produk fisi dapat terlepas ke lingkungan. Hal ini tentu akan membahayakan lingkungan.

Untuk menghindarkan terjadinya *shut down* mendadak maka diperlukan informasi tentang korelasi antara proses korosi dan variabel kandungan bahan yang digunakan.

Dengan demikian perlu dilakukan penelitian seberapa besar pengaruh komponen penyusun terhadap laju korosi. Pemilihan teknik pengukuran korosi yang sesuai kondisi adalah sesuatu yang niscaya. Pemilihan teknik tersebut meliputi :

Pertama, waktu pengukuran efektif dan efisien. *Kedua*, informasi yang diperoleh akurat. *Ketiga*, mampu dikondisikan dengan variabel proses. *Keempat*, mampu digunakan pada ragam kondisi lingkungan. *Kelima*, teknik pengukuran sederhana. *Keenam*, sistem pengukuran mampu *in situ*, dinamis dan *on line*.

Salah satu teknik yang bisa dikembangkan untuk memenuhi kriteria tersebut adalah elektrokimia. Teknik elektrokimia yang ada di PTBN adalah teknik potensiostatik yang dapat digunakan untuk memperoleh informasi laju korosi secara dinamis.

Pada penelitian ini akan ditentukan laju korosi logam paduan AlFeNi dengan menggunakan alat potentiostat yang mengaplikasikan prinsip-prinsip elektrokimia.

Beberapa negara di dunia, seperti Perancis telah melakukan pengembangan bahan struktur paduan AlFeNi sebagai *cladding* bahan bakar berdensitas tinggi. Selain itu, beberapa negara Eropa lainnya telah pula melakukan pengkajian penggunaan AlFeNi sebagai *cladding* bahan bakar reaktor riset. Berdasarkan kajian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa paduan AlFeNi memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang relatif lebih baik ^[1]. Penelitian ini akan mengkaji lebih jauh

tentang aplikasi prinsip-prinsip elektrokimia untuk penentuan laju korosi paduan AlFeNi sebagai kelongsong alternatif pembungkus bahan bakar berdensitas tinggi dengan melakukan eksperimen berbagai variasi pepaduan AlFeNi. Sebagai langkah awal akan diteliti pengaruh variabel Fe sebagai salah satu komponen paduan AlFeNi terhadap laju korosi.

TEORI

Proses korosi merupakan fenomena elektrokimia pada penggunaan bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Fenomena ini tentu saja tidak terhindarkan walaupun dapat dihambat dan diharapkan dapat dikendalikan untuk mengurangi dan bahkan mencegah dampak negatifnya. Karena peristiwa korosi merupakan suatu proses elektrokimia maka metode elektrokimia dapat digunakan untuk mempelajari dan mengukur suatu sistem terkorosi.

Bila logam kontak dengan lingkungan yang mengandung air maka akan terjadi reaksi elektrokimia yang karakteristik pada antarmuka antara logam dengan larutan. Permukaan logam akan dilapisi oleh lapisan oksida tipis yang tersebar tidak merata yang mengakibatkan terjadinya beda potensial antara sistem dengan oksidanya menjadi suatu sel elektrokimia. Pada reaksi elektrokimia tersebut menghasilkan suatu potensial yang disebut potensial korosi (E_{corr}).

Pada E_{corr} , laju oksidasi sama dengan laju reduksi sehingga sistem tersebut setimbang. Arus reduksi (I_{red}) terjadi pada proses reduksi, arus oksidasi (I_{oks}) terjadi pada proses oksidasi. Pada E_{corr} , $I_{red} = I_{oks}$ dan $I_{Total} = I_{red} + I_{oks} = 0$

Arus yang terukur pada instrumen 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 yang disebut arus korosi (I_{corr}) dan sebanding dengan laju korosi^[6]

Ada beberapa teknik untuk pengukuran laju korosi dengan metode elektrokimia yaitu metode Tafel atau Polarisasi Resistensi. Pada penelitian ini laju korosi diukur dengan menggunakan metode Polarisasi Resistensi. Teknik ini digunakan untuk mengukur tahanan polarisasi R_p . Tahanan polarisasi adalah tahanan spesimen terhadap oksidasi selama diberi potensi luar. Penggunaan R_p yang paling utama adalah untuk mengukur kecepatan korosi (laju korosi). Pada umumnya scan untuk teknik ini dilakukan mulai dari -20 mV vs E_{corr} hingga 20 mV vs E_{corr}

hingga 20 mV vs E_{corr} dengan scan rate 0,1 mV/detik. Sebelum menghitung laju korosi haruslah ditentukan I_{corr} terlebih dahulu. Nilai konstanta Tafel dapat ditentukan dari teknik Tafel Plot atau menggunakan nilai yang diketahui atau diperkirakan. Rumus berikut menerangkan hubungan antara nilai R_p , konstanta Tafel dan I_{corr} .

$$\Delta E/\Delta I = R_p = \beta_A \beta_c / (2,3 \cdot I_{corr}) (\beta_A + \beta_c)$$

R_p = Tahanan Polarisasi

β_A = Konstanta Tafel Anodik

β_c = Konstanta Tafel Katodik

I_{corr} = arus korosi

2,3 = bilangan natural log 10

Menentukan konstante tafel anodik dilakukan dari daerah linier anodik, konstanta tafel katodik dilakukan dari daerah linier katodik

Syarat untuk menentukan I_{corr} yang paling akurat^[3]

- Dilakukan pengukuran terpisah untuk menentukan β_A , β_c dan R_p . Nilai R_p menentukan ditentukan dari teknik tahanan polarisasi (Polarisasi resistance)
- Digunakan spesimen baru dan larutan segar untuk tiap pengukuran
- Digunakan persamaan dari pengukuran teknik tahanan polarisasi.

Setelah I_{corr} diketahui, maka laju korosi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$CR (mpy) = 0,13 \cdot I_{corr} \cdot EW / (A \cdot d)$$

Dimana :

CR = Corrosion Rate

Mpy = mili-inchi per tahun

Ew = berat ekuivalen (gram/ekivalen)

A = luas permukaan (cm²)

D = densitas (gram/cm³)

0,13 = Faktor konversi

Prinsip Kerja Alat

Peralatan elektrokimia untuk uji korosi yang dimiliki oleh PTBN adalah buatan EG&G Princeton Applied Research yang terdiri dari :

- Potensiostat/galvanostat Model 273
- Sel korosi
- Pengolah data dan printer

a. Potensiostat/Galvanostat Model 273

Alat ini merupakan peralatan elektronik yang sangat penting dan berfungsi untuk :

- Mengontrol potensial yang diberikan antara elektrode kerja (working electrode) dan elektrode pembanding (reference electrode). Potensial ini merupakan potensial yang dipakai (E_{app}).

2. Mengukur besarnya arus yang mengalir antara elektroda kerja dan elektroda pembantu (counter electrode) yang merupakan arus total (I_{Total}).

b. Sel Korosi

Sel korosi yang juga dikenal dengan sel tiga roda merupakan peralatan yang digunakan untuk pengukuran baik secara kualitatif maupun kuantitatif pengujian korosi suatu spesimen. Sel korosi terdiri dari tiga elektrode utama yaitu :

1. Pemegang sampel/spesimen sebagai elektrode kerja (*working electrode*) merupakan pemegang specimen yang akan diuji korosinya. Specimen bentuk piringan dengan tebal ≤ 5 mm dan diameter 15 mm.
2. Elektrode pembantu (counter electrode) , biasanya terbuat dari batang karbon yang tidak terkontaminasi ion-ion dalam elektrolit. Elektrode pembantu berfungsi untuk membantu mengalirkan arus ke dalam sistim.
3. Elektrode pembanding (reference electrode), yang dipasang pada jembatan garam (gridge tube) agar berjarak sedekat mungkin dengan specimen. Sebagai elektrode pembanding dipakai elektrode kalomel jenuh.
4. Sel korosi dengan kabel yang sesuai dihubungkan ke potensiostat/galvanostat dan pengolah data atau computer.

TATA KERJA

a. Bahan

- Air demin
- Paduan aluminium

b. Alat

- Potensiostat EG & G 273 dengan software M 342, printer.
- Mesin gerinda dan kertas ampelas
- Termometer
- Magnetic stirrer
- Hot plat
- alat-alat gelas

c. Preparasi Sampel

- Spesimen uji di punch dengan ukuran garis tengah 1,0 cm
- Spesimen uji diampelas berturut-turut dengan kertas ampelas grade 240, 320, 400 dan 600.
- Specimen uji dicuci dengan ultrasonic dalam methanol selama 5 menit dan dikeringkan di udara.
- specimen ditempatkan dalam sel korosi yang berisi larutan uji
- Elektroda kerja, elektrode pembanding dan elektrode pembantu dihubungkan ke potensiostat.

d. Pengukuran Uji Korosi

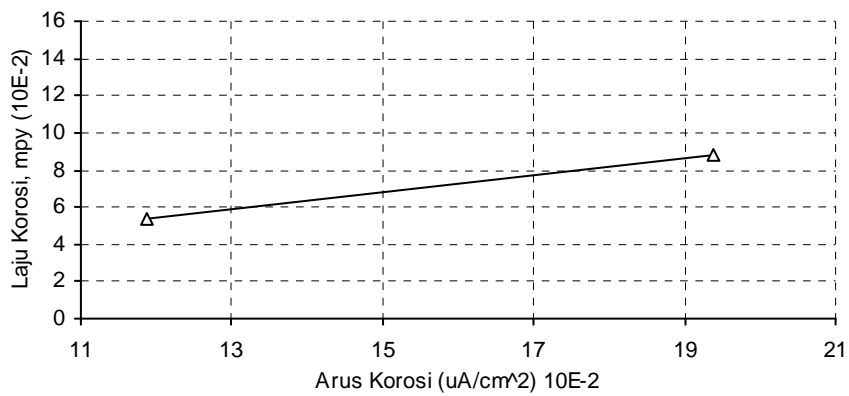
- Potensiostat EG & G 273 dihubungkan dengan sel korosi dan komputer. Potensial scanning diatur MULAI DARI - 20 mv vs E_{Corr} hingga 20 mv vs E_{Corr} dengan scan rate 0,1 mV/detik.
- Sel korosi diletakkan di atas di atas pemanas yang dilengkapi dengan pengaduk magnetik dan termometer. Larutan diset pada temperatur 50°C. Elektrode yang digunakan adalah elektrode kalomel jenuh.
- Stop kontak dihubungkan ke soket
- Tombol *power on* ditekan pada potensiostat
- computer, monitor dan printer dihidupkan
- Ditunggu sampai computer menampilkan prompt `c:\>`
- diketik `cd\parc <enter>`
- `C:\parc>m342c<enter>`
- Setup/Run menu dipilih dengan menekan tombol S di keyboard
- Teknik yang dipilih ditekan. Misal jika memilih metode *Resistance Polarisation* maka angka 2 ditekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

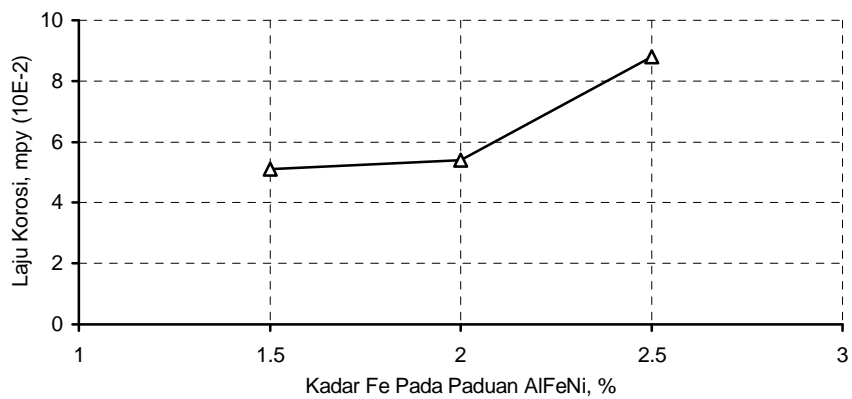
HASIL

Tabel 1. Arus Korosi dan Laju Korosi paduan AlFeNi hasil pengukuran dengan Metode Polarisasi Resistensi

Kode Sampel	% Fe	% Ni	% Al	Icorr - 1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Icorr - 2 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Icorr Rata2 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	CR ₁ (mpy)	CR ₂ (mpy)	CR Rata 2 (mpy)
A	1,5	1,0	97,5	0,1125	0,1125	0,1125	0,0512	0,0510	0,0510
B	2,0	1,0	97,0	0,1250	0,1125	0,1187	0,0553	0,0534	0,0540
C	3,0	1,0	96,0	0,1625	0,2250	0,1937	0,0750	0,1016	0,0880
D	2,0	1,5	96,5	0,0250	0,0125	0,1870	0,0116	0,0079	0,0100
E	2,5	1,5	96,0	0,9375	0,6750	0,8622	0,4304	0,3078	0,3691



Gambar 1. Hubungan antara arus korosi dengan laju korosi



Gambar 2. Pengaruh kadar Fe paduan AlFeNi terhadap laju korosi

PEMBAHASAN

Paduan AlFeNi dengan kadar Ni 1,0% dan Fe 1,5% memberikan laju korosi sebesar 0,0510 mpy. Angka ini lebih kecil dibandingkan laju korosi yang dihasilkan oleh paduan dengan kadar Ni 1,0% dan Fe 2,0%. Sedang paduan dengan kandungan Ni 1% dan Fe 3,0% laju korosinya sebesar 0,0880mpy. Dari Tabel 1 terlihat bahwa untuk paduan dengan kandungan 1,0% sementara kandungan Fe nya bervariasi, ternyata dengan bertambahnya kandungan Fe laju korosi semakin bertambah pula.

Adapun paduan dengan kandungan Ni 1,5% dan Fe 2,0% memberikan hasil laju korosi sebesar 0,01 mpy. Angka ini jauh lebih kecil dibandingkan paduan dengan kandungan Ni 1,5% dan Fe 2,5% yaitu 0,3691 mpy. Dan dari kelima paduan AlFeNi yang diperiksa laju korosinya ternyata paduan dengan Fe 2,5% dan Ni 1,5% memberikan hasil laju korosi yang terbesar.

Fenomena bertambahnya laju korosi seiring dengan bertambahnya kadar Fe boleh jadi disebabkan karena Fe mempunyai potensial dimana pertambahan Fe dalam paduan dapat menyebabkan bertambahnya jumlah partikel Fe yang terkorosi sehingga laju korosipun bertambah. Demikian pula paduan dengan kandungan Ni 1,5%. Laju korosi bertambah seiring bertambahnya kandungan Fe. Untuk Fe 2%,Ni 1,5% laju korosinya 0,01% sedangkan untuk 2,5% Fe, 1,5% Ni laju korosinya tertinggi yakni 0,3691 mpy. Dari data diperoleh petunjuk tentang adanya kecenderungan kenaikan laju korosi seiring bertambahnya kandungan Fe maupun Ni dalam paduan.

Dari tabel 1 terlihat pula adanya gejala tentang bertambahnya laju korosi seiring dengan bertambahnya arus korosi. Fenomena tersebut dapat dinyatakan secara matematis lewat rumus : $Laju\ Korosi = 0,13 (i_{corr}) EW / A.d$ dimana 0,13 adalah angka konversi, i_{corr} adalah arus korosi, EW adalah berat ekuivalen, A adalah luas permukaan sampel sedangkan d adalah densitas. Dari rumus terlihat bahwa laju korosi berbanding,lurus dengan arus korosi (i_{corr}). Hal itu tergambarkan dengan jelas melalui gambar 1 dimana dengan bertambahnya arus korosi laju korosipun bertambah.

KESIMPULAN

1. Metode elektrokimia dengan potensiostat efektif mengukur laju korosi paduan AlFeNi
2. Laju korosi paduan AlFeNi bertambah seiring dengan bertambahnya kadar Fe (1,5% 2,0%

dan 3%) dalam paduan dengan kandungan Ni tetap 1%. Demikian pula untuk paduan AlFeNi dengan kadar Fe 2,0% dan 2,5% kadar Ni tetap 1,5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada saudara Djoko Kisworo yang telah membantu pembuatan teflon yang digunakan sebagai salah satu komponen *specimen holder*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Hasa, M.Husna Pengaruh kadar Fe terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur paduan AlFeNi, Proceeding hasil penelitian/kegiatan 2006 PTBN, Serpong 30-31 Januari 2007.
- [2] Chaidir, Andi. Kinetika korosi paduan logam AlMg2 dalam media air pada temperatur 40-80°C dan pH 4-9. Proceeding Presentasi Ilmiah Daur bahan Bakar Nuklir II PEBN-Batan. Jakarta 19-20 November 1996
- [3] EG&G PRINCENTON APPLIED RESEARCH, Application Note Corr-4 Electrochemistry and corrosion Overview and Techniques. Princeton Applied Research, USA, 1982
- [4] Soentono, Soedyartomo. Korosi di Industri Nuklir. Widyanuklida vol. 1 no 2 1998.
- [5] Sulungbudi, Grace Tj. Teknik pengujian korosi dengan elektrokimia, Diklat Teknologi Korosi dan Analisis Kegagalan pada bahan industri,. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional jakarta 21-31 Mei 2007
- [6] Supardi et al, Praktikum pengujian korosi dengan metode elektrokimia, Diklat Teknologi Korosi dan Analisis Kegagalan pada bahan industri,. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta 21-31 Mei 2007

TANYA JAWAB

1. Suliyanto
 - Apa alasan utama penetapan % Fe pada paduan AlFeNi yang dicoba seperti pada paduan A, B, C, D,E untuk pengukuran laju korosi
 - Apakah paduan AlFe Ni yang dicoba tersebut sesuai dengan paduan yang banyak digunakan sebagai bahan struktur (cladding)

Andi Haidir

- Paduan AlFeNi yang diteliti adalah paduan dengan kandungan Fe yang variatif. Demikian juga dengan kandungan Al dan Ni adalah yang utama dan Fe. Ni diteliti karena memberi kontribusi yang besar terhadap bertambahnya laju korosi
- AlFeNi yang diteliti adalah dengan peleburan ke 3 komponen yang dibuat dengan peleburan dengan busur listrik

2. Martoyo

- Ditinjau dari fungsi cladding, apa keunggulan dari AlFeNi dibanding AlMgSi, berdasar pada hasil penelitian ini

Andi Haidir

- AlFeNi adalah salah satu alternatif untuk pembuatan cladding pada reaktor riset yang sudah banyak digunakan di Eropa termasuk Prancis

3. Aslina Br.Ginting

- Judul mohon diganti dari "Aplikasi Metode Elektrokimia untuk Pengukuran Laju Korosi Paduan AlFeNi" menjadi "Penentuan Laju Korosi Paduan AlFeNi Menggunakan Metode Elektrokimia"
- Supaya lebih lengkap tambahkan hipotesa yaitu "Variasi Kandungan Fe diduga akan mempengaruhi besar laju korosi AlFeNi"
- AlFeNi digunakan sebagai kelongsong, bagaimana perbandingannya laju korosi terhadap AlMg₂

Andi Haidir

- Judul yang kami pilih dimaksudkan untuk memberi pemasukan pada Aplikasi metode elektrokimia
- Akan kami tambahkan hipotesa bahwa selain Fe, juga Ni dapat memberi kontribusi terhadap laju korosi
- Insya Allah, akan dilakukan penelitian untuk membandingkan sifat korosi AlFeNi dengan yang lain