

PENGARUH ENERGI AKTIVASI LOGAM PELAPIS TERHADAP KETEBALAN DAN LAJU KOROSI PLATING

A. Noor Setyo HD¹, Sri Widodo²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
email : noorsetyo@yahoo.com

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar
email : sriwidodoft@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh gradient energi aktivasi (ΔG) logam terhadap ketebalan dan laju korosi lapisan Ni; Cr, dan Ni-Cr. Lapisan diperoleh melalui proses elektroplating Ni; Cr, dan Ni-Cr pada spesimen baja karbon dengan menggunakan variasi kuat arus 1,25; 1,5 dan 1,75 Amper pada tegangan dan lama pelapisan (15 menit) konstan. Nickel plating diperoleh pada proses lapis listrik dengan menggunakan larutan elektrolit watt's bath pada campuran 150 g/l NiSO₄, 30 g/l NH₄Cl, 30 g/l H₃BO₃ dengan temperatur 25–35 °C, pH sekitar 4 -6, agitasi udara, Chromium plating menggunakan anoda berupa paduan batang Pb (lead) dan Sn (antimony), larutan berupa campuran elektrolit 300 g/l CrO₃, 3 g/l H₂SO₄ pada temperatur kerja 40–55 °C, pH sekitar 0,4 – 0,5 dan agitasi udara. Ketebalan korosi diamati dengan menggunakan mikroskop optik pada pembesaran 200 X sedang laju korosi pengamatan dilakukan berdasarkan metode polarisasi resistansi dalam media 0,9% larutan Natrium Chlorid. Hasil penelitian menunjukkan, pada perlakuan yang sama, tebal lapisan meningkat pada kuat arus meningkat, chromium lebih lambat dari lapisan nickel maupun lapisan nickel-chromium. Tebal lapisan secara berurutan rata-rata diperoleh untuk lapisan Ni: 51, Cr: 39, sedang laju korosi yang terjadi pada kuat arus 1,75 A pada lapisan nickel 0,0017 mm/tahun; lapisan Chromium, 0,0077 mm/tahun dan lapisan Nickel-Chromium 0,0231 mm/tahun.

Kata Kunci : quenching, tempering, sementit, uji kekerasan.

Abstract

This study aims to study the effect of the activation energy gradient (ΔG) of metals on the thickness and corrosion rate of Ni layers; Cr, and Ni-Cr. The layer is obtained through the Ni electroplating process; Cr, and Ni-Cr in carbon steel specimens using a variation of current strength of 1.25; 1.5 and 1.75 Ampere at constant stress and coating time (15 minutes). Nickel plating is obtained in the electric layer process using a watt's bath electrolyte solution in a mixture of 150 g / l NiSO₄, 30 g / l NH₄Cl, 30 g / l H₃BO₃ with a temperature of 25-35 oC, pH around 4-6, air agitation, Chromium plating using anode in the form of an alloy of Pb (lead) and Sn (antimony) rods, a solution in the form of an electrolyte mixture of 300 g / l CrO₃, 3 g / l H₂SO₄ in working temperature of 40–55 oC, pH around 0.4 - 0.5 and air agitation. Corrosion thickness was observed using an optical microscope at 200 X magnification while the corrosion rate of observation was carried out based on the method of resistance polarization in the medium of 0.9% Sodium Chlorid Solution. The results showed that, in the same treatment, the thickness of the layer increased in increasing current strength, slower chromium than nickel layer and Nickel-Chromium layer. Sequential thickness of layers is obtained for Ni: 51, Cr: 39 layers, while corrosion rates occur at 1.75 A current in nickel layer 0.0017 mm / year; Chromium layer, 0.0077 mm /year and Nickel-Chromium layer 0.0231 mm / year.

Keywords : quenching, tempering, sementir, hardness testing.

PENDAHULUAN

Korosi merupakan peristiwa alami (*natural process*) yang menyebabkan terjadinya penurunan mutu logam akibat adanya reaksi kimia antara logam dengan lingkungannya atau akibat adanya reaksi elektrokimia yang dipengaruhi oleh adanya potensial listrik, dan laju korosi ditentukan oleh berbagai faktor lingkungan yang paling penting adalah adanya pemasukan O₂, pH dan hadirnya ion – ion agresif, terutama oksida-oksida belerang dan klorida (Trethewey, 1991).

Korosi melibatkan pergerakan ion logam ke dalam larutan pada anoda dan pertukaran elektron dari logam kepada katoda, karena itu upaya pengubahan lingkungan yang menjadikannya kurang agresif akan bermanfaat untuk membatasi serangan korosi pada kerusakan logam.

Kecepatan korosi akan sangat tergantung ada atau tidaknya lapisan oksida dalam substrat, karena lapisan oksida dapat menghalangi beda potensial terhadap elektrode lainnya diantaranya seperti penggunaan lapisan (*coating*) yang dilakukan melalui proses *electroplating* dengan tujuan umur logam menjadi lebih tahan lama, penghematan pemakaian bahan/komponen yang pada gilirannya akan menurunkan biaya operasi yang disebabkan masalah korosi.

Electroplating merupakan salah satu proses untuk memanipulasi sifat permukaan substrat yang dilakukan dengan cara melapisi logam secara adhesi dengan logam lain. Reaksi kimia pada proses elektroplating bukan merupakan reaksi spontan, akan tetapi karena adanya perpindahan ion bermuatan listrik dari elektroda (anoda) melalui elektrolit yang berlangsung secara terus menerus menuju arah tertentu (*katoda*) secara tetap, dan hasil elektrolisis ion-ion akan mengendap pada *katoda* dan bersifat adhesif.

Kualitas dan ketebalan *Electroplating* diantaranya akan dipengaruhi oleh temperatur elektrolit, kuat arus, tegangan listrik dan keatipan logam pelapis. Oleh karena proses *electroplating* bukan merupakan proses reaksi spontan, maka sistem memerlukan tambahan energi bebas (ΔG) untuk melakukan perubahan proses reaksi dari C dan D menjadi

A dan B, karena penghalang energi bebas (ΔG) yang diperlukan untuk dilompati guna menghasilkan reaksi baru cukup besar yaitu ($\Delta G^* + \Delta G$), sehingga laju reaksi proses elektroplating akan jauh lebih rendah dibandingkan laju korosi.

Laju ketahanan korosi logam ferro akan dipengaruhi diantaranya besar kecilnya energi bebas aktivasi (ΔG), kelembaban relatif, temperatur, pH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor padat atau terlarut, konsentrasi dan kecepatan elektrolit. Sehingga variasi-variasi kondisi lingkungan sedapat mungkin harus sudah terdifikasikan sejak perancangan untuk menghambat laju korosi.

Pada suhu kamar dan tekanan atmosfer, laju ketahanan korosi logam dapat dihambat, diantaranya dengan memberikan lapisan logam pelindung yang memiliki keaktifan lebih rendah dengan cara manipulasi sifat permukaan substrat dengan cara melapisi substrat dengan logam lain yang memiliki tingkat keaktifan kurang mulia, seperti logam yang bersifat katodik terhadap baja, diantaranya nickel dan chromium. karena logam tersebut mampu meningkatkan energi bebas aktivasi (ΔG) terhadap baja. karena berdasarkan deret Galvanik, logam nickel memiliki kedudukan disebelah kanan unsur logam chromium, besar potensial elektroda standar dari masing-masing logam ($\Delta E^0 \text{ Ni}$) : - 0,28 Volt), dan chromium ($\Delta E^0 \text{ Cr}$) : - 0,74 Volt.

Sedang berdasarkan *Transition State Theory* menyebutkan jika suatu reaktan yang terdiri dari zat A dan B saling berinteraksi untuk membentuk zat baru, C dan D, maka menurut reaksi agar dapat menghasilkan zat-zat baru, zat A dan B tidak hanya saling bersentuhan, akan tetapi harus saling berpadu secara fisik guna membentuk suatu zat baru antara AB (Trethewey, 1991).

Profil energy menjelaskan, bahwa dalam suatu proses perubahan energi yang berlangsung selama reaksi, dalam kondisi keadaan peralihan suatu reaktan menuju hasil reaksi, dibutuhkan suatu energi yang lebih banyak dari energi masing-masing

zat reaktan (ΔG^*), dibanding energi hasil reaksi dengan selisih sebesar (ΔG). Selanjutnya jika reaksi sudah terbetuk, kondisi peralihan dapat berubah kembali menjadi suatu reaktan atau terus berubah menjadi hasil reaksi, dengan menjadi hasil reaksi C dan D, keadaan peralihan dapat mencapai keadaan dengan energi bebas yang lebih rendah.

Dalam bentuk sederhana, jika C dan R suatu tetapan-tetapan, dan T temperatur mutlak maka besar laju korosi suatu zat dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan Arrhenius (Trethewey, 1991), yaitu :

$$V = C \text{ Eksp } (-\Delta G^*/RT)$$

Selain itu laju korosi juga dipengaruhi oleh potensial listrik, akibat terjadinya degradasi logam karena adanya reaksi redoks yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki oleh lingkungannya.

Menurut Jones, 1991 besar laju korosi dapat ditentukan berdasarkan metode kurva potensial vs log intensitas arus korosi Gambar 1.1. Rapat arus korosi (I_{corr}) diperoleh dari hasil kurva potensial lawan logaritma reaksi reduksi (η_c) dan garis tafel reaksi oksidasi (η_a) pada garis potensial korosi (E_{corr}). Besar η_c dan η_a ditentukan berdasarkan persamaan yaitu :

$$\eta_c = \beta_a \log \frac{i_a}{i_o} \quad (2.1)$$

$$\eta_a = \beta_c \log \frac{i_c}{i_o} \quad (2.2)$$

dengan :

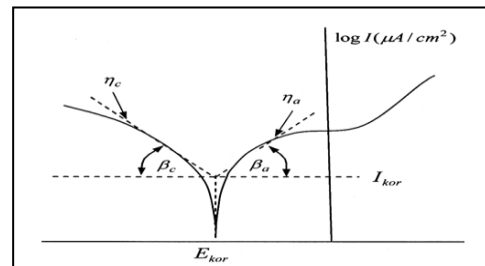
- η_c : Tafel reaksi oksida
- β_a : gradien Tafel reaksi anoda
- η_a : Tafel reaksi reduksi
- β_c : gradien Tafel reaksi katoda
- i_a : arus pada reaksi anoda
- i_c : arus reaksi katoda
- i_o : arus perubahan reaksi-reduksi menuju reaksi oksidasi

Besar laju korosi diperoleh berdasarkan harga rapat arus korosi (I_{corr}), sesuai dengan persamaan (Jones, 1991) :

$$r = 0,129 \frac{a.i}{nD} \quad (2.3)$$

dengan :

- r : laju korosi (mpy)
- n : valensi atom
- a : nomor massa atom
- D : berat jenis spesimen (gr/cm^3)
- i : rapat arus korosi ($\mu \text{ A/cm}^2$)



Gambar 1.1 Kurva Potensial Vs Log Intensitas Arus Korosi.

Jika berat jenis equivalen E_w , maka untuk bahan paduan besar laju korosi ditentukan berdasarkan persamaan :

$$r = 0,00327 \frac{I_{cor}(E_w)}{D} \quad (2.4)$$

dengan nilai equivalen total, yaitu :

$E_w = N_{EQ}^{-1}$, sehingga besar laju korosi dalam satuan mills per year:

$$N_{EQ} = \sum \left[\frac{\omega_1}{a_1/n_1} \right] = \sum \left[\frac{\omega_1 n_1}{a_1} \right] \quad (2.6)$$

$$1\text{ mpy} = 0,025 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} = \frac{2,9 \text{ nm}}{\text{yr}} \quad (2.7)$$

dengan :

- a_i : nomor massa atom
- ω_i : fraksi berat
- n_i : elektron valensi

METODE PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

- 1) *raw material* berupa baja karbon.
- 2) elektroda nikel (Ni) dengan kemurnian 99,98 %
- 3) elektrode lead (Pb) paduan antimoni dengan kemurnian 99,92 % untuk proses chromium.
- 4) larutan elektrolit nikel plating yang memiliki komposisi NiSO_4 : 150 g/l, NH_4Cl : 30 g/l, H_3BO_3 : 30 g/l, dengan kondisi operasi : temperatur : 25-35 oC, kuat arus: 1,25, 1,5, 1,75 Amper, agitasi : udara.
- 5) larutan elektrolit chromium plating yang memiliki komposisi Cr O_3 : 300 g/l, H_2SO_4 : 4 g/l, dengan kondisi operasi: temperatur 40-55^oC, kuat arus: 1,25, 1,5, 1,75 Amper.
- 6) air bebas mineral, air ledeng, autosol metal polish, dan alkohol
- 7) amplas mesh 80, 120, 240, 360, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500,

B. Alat Penelitian

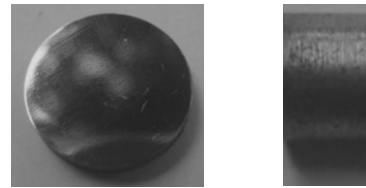
Macam alat, jenis peralatan utama dan pendukung yang digunakan mulai dari tahap persiapan, tahap pengujian, hingga tahap akhir penelitian diantaranya meliputi yaitu :

- 1) mesin *Elektroplating*
- 2) mesin uji tipe sel tiga elektroda potensiostat tipe PGS – 201T menggunakan rentang tegangan -20 mV s/d 20 mV, *scan rate* : 0,1 mV/s, dan scale $E_{cor} = -248$, MV/PT: 0,25.
- 3) mesin bubut/CNC,
- 4) mikroskop optik,
- 5) mesin poles,
- 6) alat pendukung lainnya: sarung tangan, masker, hair dryer, spidol

C. Spesimen Pengujian

Seluruh spesimen menggunakan bahan baja karbon yang memiliki

bentuk dan dimensi seperti terlihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bentuk penampang benda uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pelapisan (*coating*) Nikel (Ni), Chromium (Cr) dan Nikel-Chromium (Ni-Cr) dilakukan secara berurutan dengan mengatur besar kuat arus mulai dari 1,25, 1,50, dan 1,75 Amper dengan tegangan constan 6 Volt selama 15 menit, temperatur larutan elektrolit 25-35^oC, dan waktu proses konstan selama 15 menit. Pada pelapisan Nikel sebagai anoda dipakai logam *nickel*, sedang sebagai larutan elektrolit jenis *watt's* yang terdiri dari : NiSO_4 : 250 gr/l, NH_4Cl : 30 gr/l, H_3BO_3 : 30 gr/l.

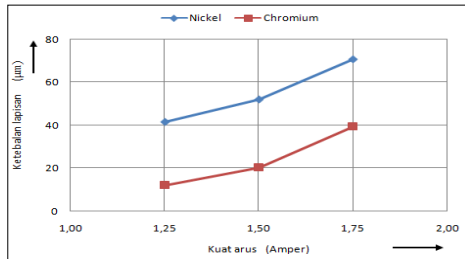
Pelapisan *hard chromium* dilakukan dengan menggunakan larutan elektrolit $\text{CrO}_3 = 300$ gram/liter dan $\text{H}_2\text{SO}_4 = 3$ gram/liter, variasi kuat arus 1,25, 1,50 dan 1,75 Amper, temperatur elektrolit 45-55^oC, dan lama proses pelapisan 15 menit.

Hasil pengamatan terhadap tebal lapisan Ni, Cr, dan Ni-Cr memperlihatkan pada kondisi dan waktu pelapisan yang sama, bertambahnya kuat arus, unsur Ni, Cr dan Ni-Cr mengalami kenaikan ketebalan.

Kenaikan ketebalan ini disebabkan akibat adanya kenaikan kuat arus yang akan menyebabkan percepatan pelepasan gerak elektron, reaksi reduksi dari ion positif ke logam pelapis, dan panjang waktu transportasi gerakan ion positif menuju kutub negatif.

Gambar 3.1 memperlihatkan, secara berurutan, besar kenaikan tebal rata-rata lapisan pada kuat arus 1,25-1,50 Amper

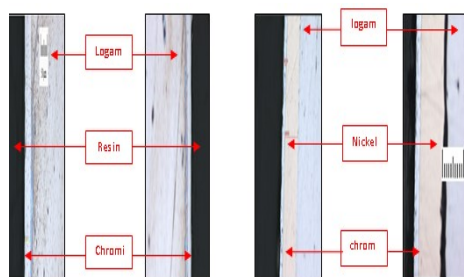
masing-masing lapisan *nikel* memiliki tebal $9,57 \mu\text{m}$, pada kuat arus 1,50-1,75 Ampere tebal sebesar $19,59 \mu\text{m}$, untuk lapisan *chromium* (Cr), tebal $9 \mu\text{m}$ dan $19 \mu\text{m}$, sedang untuk lapisan *nikel-hard chromium* (Ni-Cr) $9,41 \mu\text{m}$ dan $20,19 \mu\text{m}$.



Gambar 3.1 Hubungan kuat arus terhadap ketebalan lapisan Ni, Cr.

Hasil *Elektroplating* menunjukkan tebal lapisan/massa zat yang terbentuk pada elektroda akan sebanding dengan besar kuat arus yang mengalir pada proses elektrolisis. Semakin besar kuat arus yang terpakai, jumlah aliran kation (ion +) yang terlepas dari anoda, dan mengendap pada katode melalui reaksi reduksi cairan elektrolit akan semakin banyak dan semakin padat.

Terlihat pada kondisi operasi yang sama Gambar 3.2, lapisan *Chromium* dan *nickel-hard chromium*, lapisan *Nickel-Chromium* memiliki ketebalan lebih rendah, jika dibanding lapisan *Chromium* tanpa lapisan dasar *Nickel*, hal ini dikarenakan unsur *Nickel* cenderung bersifat reduktor jika dibandingkan unsur ferro yang cenderung bersifat oksidator.



(a) (b)
Gambar 3.2.a dan b Tebal lapisan Cr tanpa Ni dan dengan Ni

Hasil penelitian Gambar 3.2 secara berurutan menunjukkan pada kuat arus 1,25, 1,5, 1,75 Ampere, besar tebal lapisan untuk *Nickel* yaitu 42, 52, 71 μm ; *Chromium* 12, 20, 40 μm , dan *Nickel-Chromium* yakni 61, 70, 90 μm .

Sedang besar laju korosi untuk bahan paduan ditentukan berdasarkan persamaan yaitu :

$$r = 0,219 \frac{I_{cor} (EW)}{D}$$

Selanjutnya untuk hasil pengujian *raw material* diperoleh besar $I_{cor} = 1,81 \mu\text{A}/\text{mm}^2$, sedang berat *equivalen* lapisan ditentukan berdasarkan persamaan, yaitu :

$$EW = N_{EQ}$$

$$N_{eq}^{-1} = \left[\frac{0,8590}{55,85} \right] + \left[\frac{0,004275}{54,94} \right] + \left[\frac{0,003385}{28,086} \right] + \left[\frac{0,000673}{12,010} \right] = 0,0388$$

Berat *equivalent* lapisan diperoleh dengan cara mensubstitusikan nilai-nilai unsur kandungan baja, ke dalam persamaan sehingga diperoleh, yakni:

$$N_{EQ} = \left[\frac{(0,8590)(2)}{55,85} \right] + \left[\frac{(0,004275)(2)}{54,94} \right] + \left[\frac{(0,003385)(4)}{28,086} \right] + \left[\frac{(0,000673)(4)}{12,010} \right] = 0,0388$$

$$EW = N_{EQ}^{-1} = \frac{1}{0,0388} = 25,7755$$

Sedang besar laju korosi (r) per tahun, diperoleh dengan cara mensubstitusikan harga (I_{cor}) dan (EW) kedalam persamaan:

$$r = 0,129 \frac{(181)(25,7755)}{7,9} = 76,179 \text{ mpy}$$

$$= 0,0254 \times 76,179 = 1,934 \text{ mm/yr}$$

Besar laju korosi per tahun untuk masing-masing lapisan *Nickel*, *Chromium* dan *Nickel-Chromium* selanjutnya dengan menggunakan cara dan metode yang sama seperti di atas akan diperoleh hasil seperti terlihat dalam Tabel.3.1.

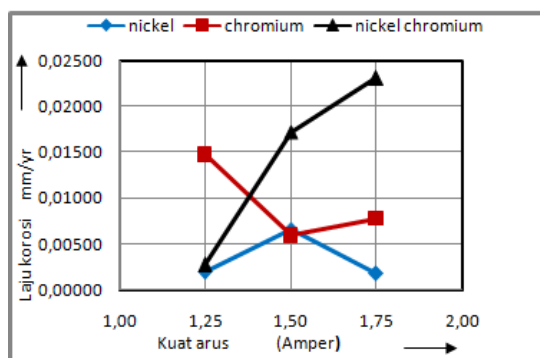
Tabel 3.1 menunjukkan, bahwa baja karbon yang terlapsi *Chromium* dalam

media 0,9 % larutan Natrium Chlorid (NaCl), memiliki laju ketahanan lapisan korosi per tahun yang semakin menurun, sedang untuk lapisan nickel dan nickel-chromium laju ketahanan korosinya mengalami kenaikan setiap tahunnya.

Tabel 3.1 Laju korosi lapisan Ni, Cr, Ni-Cr didalam media larutan 0,9 % Na Cl

No	Spesimen Data uji korosi	Baja Karbon	Arus proses 1,25 A	Arus proses 1,5 A	Arus proses 1,75 A
Tanpa lapisan					
1	E_{corr} (MV)		-341,0400		
2	I_{corr} ($\mu A/mm^2$)		1,8100		
3	Laju korosi (mm/yr)		1,9340		
Laju korosi Lapisan Nickel					
1	E_{corr} (MV)	-253,3700	-332,3400	-261,6900	
2	I_{corr} ($\mu A/mm^2$)	0,1700	0,5900	0,1500	
3	Laju korosi (mm/yr)	0,0019	0,0069	0,0017	
Laju Korosi Lapisan Chromium					
1	E_{corr} (MV)	-439,1000	-451,2300	-436,0600	
2	I_{corr} ($\mu A/mm^2$)	1,3200	0,5300	0,7000	
3	Laju korosi (mm/yr)	0,0147	0,0059	0,0077	
Laju Korosi Lapisan Nickel-Hard Chromium					
1	E_{corr} (MV)	-492,1500	-435,8400	-493,8600	
2	I_{corr} ($\mu A/mm^2$)	0,2400	1,5400	2,0700	
3	Laju korosi (mm/yr)	0,0026	0,0172	0,0231	

Kenaikan korosi terjadi karena logam nickel memiliki potensial elektroda (ΔE_{Ni}^0 : -0,28 Volt), jauh lebih besar dari potensial elektroda standar *Ferro* (E_{Fe}^0) - 0,44 Volt dibanding lapisan *Chromium* (ΔE_{Cr}^0 :- 0,74 Volt, sehingga energi bebas aktivasi (ΔG) menyebabkan semakin besar ketahanan laju korosi lapisan, karena semakin negatif energi aktivasinya yang terjadi.



Gambar 3.3. Kurva potensial korosi Ni, Cr, dan Ni-Cr dalam larutan 0,9 % NaCl

Sebaliknya ketebalan lapisan logam yang terbentuk akan semakin bertambah

karena kemampuan penetrasi proses pengendapan ion dari anoda menuju katoda meningkat. Meningkatnya laju korosi yang terjadi pada lapisan *nickel-chromium* dikarenakan unsur *nickel* memiliki potensial elektrode standar (E_{Ni}^0) -0,28 Volt lebih besar dibandingkan potensial elektrode standar unsur *ferro* (E_{Fe}^0) -0,44 Volt, dan potensial elektrode standar unsur *chromium* (E_{Cr}^0) -0,74 Volt, untuk itu unsur ferro sebagai logam dasar pada lapisan *nickel hard chromium*, cenderung lebih tahan terhadap oksidasi atau kurang reaktif dan merupakan oksidator kuat dibanding unsur nickel, sehingga lapisan *chromium* pada *nickel hard chromium* cenderung akan lebih mudah terkorosi jika dibandingkan lapisan *hard chromium* yang tanpa menggunakan lapisan dasar nickel.

SIMPULAN

Hasil penelitian memberi kesimpulan sebagai berikut:

1. Tebal lapisan plating Ni, Cr, dan Ni-Cr akan semakin meningkat dengan bertambahnya kuat arus. Hal ini terjadi akibat energi aktivasi potensial elektrode untuk masing masing unsur lapisan lebih besar dibandingkan unsur ferro. Secara berurutan tebalan lapisan nickel dan chromium pada kuat arus 1,75 Amper diperoleh sebesar 71 μm dan 39 μm , pada kuat arus 1,50 Amper sebesar 51 μm dan 21 μm , dan pada kuat arus 1,25 Amper sebesar 42 μm dan 12 μm .
2. Laju ketahanan korosi baja dalam lingkungan 0,9 % larutan Natrium Chlorid, menunjukkan lapisan Chromium lebih baik, dibanding dengan lapisan nickel maupun Nickel-Chromium, hal ini dikarenakan gradien energi aktivasi unsur nickel lebih besar dibandingkan gradien energi aktivasi potensial standar unsur Chromium dan Ferro. Laju korosi maksimum untuk lapisan Nickel, Chromium dan Nickel-Chromium sebesar 0,00177 mm/yr,

0,00777 mm/yr dan 0,0231 mm/yr terjadi pada kuat arus 1,75 Amper, sedang minimal terjadi pada kuat arus 1,25 Amper sebesar 0,00265 mm/yr, 0,0147mm/yr dan 0,0185 mm/yr.

Trethewey, K.R dan Chamberlain. J, 1991, *Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Alian, H., 2010, “ *Pengaruh Tegangan Pada Proses Electroplating Baja Dengan Pelapis Seng Dan Krom Terhadap Kekerasan Dan Laju Korosi* “, Prosedding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) Ke 9 Palembang.
- Evans, U.R, Arnold, E, (1976), *The Corrosion and Oxidation of Metals: second supplementary volume*, London, Chapter 5, 12, and 13.
- Fouda, A.S., Ellithy, A.S., (2009), *Inhibition Effect of 4- Phenylthiazole derivatives on corrosion of 304L Stainless Steel in HCl Solution*, Cairo, Egypt.
- Hutchings, I.M., 1992, “*Tribology Friction and Wear of Engineering Materials*”, London, Arnold.
- Jones, D.A., 1991, “*Principles and prevention of Corrosion*”, Mc Millan Publishing Company, New York, pp 334-375.
- Jenkins, A.E (1959), The Theory of Corrosion, *Journal of Australian corrosion Engineering*, Volume 3, No.8, hal. 10-18
- Jones, D.A, (1996), *Principles and prevention of corrosion*, Second Edition, Prentice Hall, Inc., United States of America
- Surdia, T., 2000, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita.
- Siregar, Bintang, 2005, “Analisa Laju Korosi Mild Steel Pada Lingkungan Dengan Kelembaban Tinggi Selama 24 Jam“, *Jurnal Sistem Teknik Industri*, Vol 6, No 5, 5 November.