

KARAKTER FISIK DAN KOROSI MANGAN HASIL PELAPISAN PADA BAJA AISI 1020

Warlinda Eka Triastuti*, Arief Subekti*

*Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Tlp. +62-31-5942887, fax. +62-31-5925524

Email : warlindaekatriastuti@yahoo.com

Baja merupakan logam yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari dan banyak digunakan untuk peralatan mesin berat, peralatan pertanian dan peralatan bersenjata. Salah satu kelemahan baja ialah dapat terkorosi secara cepat ketika berada di udara, lingkungan berair maupun media asam, sehingga perlu dilakukan proteksi untuk menurunkan laju korosi baja. Telah dilakukan penelitian tentang karakter korosi Mn hasil pelapisan pada baja AISI 1020 secara elektrolisis dengan dengan waktu deposisi 60 – 210 detik. Proses elektroplating dilakukan dan dengan tanpa penambahan zat aditif Cu^{2+} . Potensial dan densitas arus korosi ditentukan dengan cara ekstrapolasi Tafel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam Mn yang dihasilkan dari proses pelapisan pada baja AISI 1020 secara elektrolisis tanpa dan dengan penambahan zat aditif Cu^{2+} dapat menghasilkan E_{OC} lebih negatif dari E_{OC} baja AISI 1020 sehingga dapat digunakan sebagai anoda tumbal (sacrificial anode) untuk baja tersebut. Laju korosi terendah diperoleh dari hasil elektroplating dengan penambahan zat aditif Cu^{2+} dengan waktu deposisi 180 detik yaitu sebesar 2.713 mpy. Penambahan sejumlah kecil Cu^{2+} mempengaruhi keadaan kimia dari deposit dan berakibat pada sifat mekanik dan ketahanan korosinya.

Kata Kunci ; Elektroplating, baja karbon, mangan, anoda tumbal

1. Pendahuluan

Baja banyak digunakan untuk keperluan industri seperti bahan dasar pada peralatan industri, pada lubang-lubang pengeboran ataupun sumur-sumur produksi minyak bumi, bahan bangunan, otomotif, alat-alat rumah tangga, untuk pembuatan pipa-pipa, rantai, paku, dan lain sebagainya (Suherman, 1987). Selain itu, baja dapat digunakan dalam konstruksi kapal, bangunan dan jembatan. Sampai saat ini penggunaan baja sebagai bahan utama pembuatan kapal masih dominan. Dari segi biaya dan kekuatan, penggunaan baja untuk bangunan kapal memang cukup memadai. Salah satu baja yang sering digunakan adalah baja karbon (*carbon steel*), yaitu baja yang merupakan paduan besi, karbon dan mengandung unsur bukan besi dengan persentasi maksimum selain besi yaitu 1,70% karbon, 1,65% mangan 0,60% silikon, dan 0,60% tembaga (Oentoeng, 2004). Jenis baja yang sering digunakan adalah baja karbon yang lebih dikenal sebagai *plain carbon steel* atau *mild steel*. Baja karbon mudah sekali mengalami

korosi hampir pada semua lingkungan atmosfer bila kelembaban relatif melebihi 60 persen. Korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi yang terjadi secara elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Laju korosi dipengaruhi beberapa faktor antara lain temperatur, pH, pemasakan oksigen, kandungan dan sifat fisik logam serta hadirnya ion-ion agresif seperti oksida-oksida belerang dan klorida. Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain modifikasi rancangan, pengubahan lingkungan, pemilihan bahan, pemberian lapis pelindung atau *plating*, dan proteksi katodik atau anodik. Pelapisan logam atau plating merupakan perlindungan logam yang cukup efektif. Metode pelapisan dengan cat kurang baik dalam melindungi struktur baja, karena selalu ada cacat pada lapisan itu sehingga sebagian permukaan logam berhadapan langsung dengan lingkungan. Apabila lapisan cat mengalami sedikit keretakan,

baja akan mengalami *pitting*. Pada pelapisan dengan plastik, beberapa jenis plastik dapat melepaskan bahan-bahan yang mudah menguap jika terkena panas atau radiasi ultra ungu sehingga dapat menyerang permukaan logam, misalnya PVC melepaskan gas hidrogen klorida, sedangkan nilon melepaskan asam asetat (Trethewey dan Chamberlain, 1991).

Elektroplating berfungsi sebagai pelindung terhadap serangan korosi dan dapat memperbaiki penampakan logam yang dilindunginya (Lowenheim, 1985). Keunggulan metode elektroplating secara umum diantaranya: proses yang terjadi cukup sederhana, memiliki keselectifan tinggi bahwa logam yang bersifat katodik akan terdepositasi pada logam lain yang bersifat anodik dan memiliki *throwing power* yang baik (Landlolt, 2002). Salah satu jenis pelapisan logam yaitu pelapisan logam dengan menggunakan anoda tumbal (Uhlig, 1985). Elektroplating pada baja dengan menggunakan logam yang lebih elektronegatif banyak diaplikasikan pada pipa baja dalam tanah atau dalam laut, anjungan minyak lepas pantai dan untuk melindungi lambung kapal (Trethewey, 1991). Logam mangan merupakan logam yang sangat elektronegatif karena mempunyai potensial reduksi standar yang sangat kecil ($E^{\circ}_{\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}} = -1,421 \text{ V}$), sehingga dapat digunakan sebagai anoda tumbal dari baja. Logam mangan juga memiliki beberapa keunggulan, diantaranya ialah : memiliki sifat yang ramah lingkungan (*environmentally friendly nature*), memiliki perilaku *tribological* yang baik (koefisien gesekan yang rendah, sifat mekanik yang baik), cukup reaktif dan harganya relatif murah. Oleh karena sifat-sifatnya tersebut, maka berbagai penelitian ditujukan untuk mempelajari elektrodeposisi logam mangan, struktur serta sifatnya ketika terdepositasi pada logam lain, misalnya: baja. Hal itu dimungkinkan oleh karena potensial dari mangan yang rendah ($E_o(\text{Mn}^{2+}/\text{Mn}) = -1,18 \text{ V}_{\text{SHE}}$). Mangan dapat dielektrodeposisi dari *bath* sulfat maupun klorida. Efisiensi arus meningkat dari 60-70

%. Hasil elektrodeposisi menghasilkan lapisan γ -mangan yang *ductile* dan α -mangan yang *brittle*. Lapisan yang sifatnya *ductile* dapat mengalami rekristalisasi ke dalam bentuk *brittle* pada temperatur kamar, transformasi tersebut berlangsung selama 14 hari (Jie Gong, 2002). Akan tetapi mangan murni secara kimia mempunyai kereaktifan tinggi dan pelapisan dari material ini hanya memberikan perlindungan dalam waktu terbatas ketika dicelupkan dalam elektrolit atau ditempat terbuka. Sifat rapuh dari mangan akibat adanya transformasi dari fase *ductile* γ -Mn menuju ke fase *brittle* α -Mn (Jie Gong, 2004).

Penambahan sejumlah kecil zat aditif pada larutan untuk elektrodeposisi dari suatu logam dapat menyebabkan perubahan dalam sifat alami dan pertumbuhan film pada katoda. Perubahan ini meliputi mengkilapnya deposit, variasi dalam sifat mekanik dan fisik, berkurangnya tegangan internal dan memperbaiki ketahanan korosi (Jie Gong, 2004).

Pada umumnya, zat aditif memiliki kemampuan untuk teradsorpsi pada permukaan katoda dan dalam beberapa kasus masuk kedalam deposit dan mengubah slop Tafel. Hal ini dapat terjadi jika ada transfer elektron melalui lapisan yang teradsorpsi atau pembentukan kompleks pada permukaan elektroda. Zat aditif dapat dapat berfungsi sebagai *brighteners*. *Brighteners* dapat menyebabkan pembentukan butiran deposit lebih bagus dan untuk memodifikasi proses nukleasi. Penggunaan *brighteners* biasanya digunakan untuk tujuan dekoratif. *Brighteners* yang biasa ditambahkan antara lain Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Sn dan sebagainya (Othmer - Kirk, 1979). Senyawa tembaga (II) sulfat atau CuSO_4 dapat digunakan sebagai zat aditif dalam proses elektroplating. Hal ini disebabkan ion Cu^{2+} pada CuSO_4 bertindak sebagai *brighteners* sekaligus *leveler*, yang fungsi utamanya adalah memperbaiki sifat fisik dan mekanik lapisan plating. Sifat fisik dan mekanik yang dihasilkan ini dapat

diketahui dari permukaan lapisan yang lebih cerah, halus, rata, dan tidak rapuh. Selain itu ion Cu^{2+} juga dapat mereduksi internal stress pada logam serta meningkatkan ketahanan korosi pada lapisan plating. Pada penelitian ini menggunakan logam Mn dikodeposisikan dengan logam Cu untuk mengurangi sifat rapuh mangan hasil pelapisan.

Kinetika reaksi merupakan reaksi elektrokimia yang melibatkan reaksi oksidasi dan reduksi. Kinetika korosi digunakan untuk mempelajari kecepatan korosi yang terjadi pada logam atau alloy logam. Kecepatan atau laju korosi dari tiap – tiap logam tidak sama, tergantung pada sifat bahan dan lingkungannya. Untuk menentukan laju korosi logam diperlukan parameter pengukuran yang disebut kerapatan arus atau densitas arus korosi (i), yaitu arus (I) per satuan luas (A). Hubungan antara I dan massa yang bereaksi, m , di dalam reaksi elektrokimia ditunjukkan melalui persamaan Faraday berikut ini:

$$m = \frac{Ita}{nF} \quad (1)$$

dimana F merupakan konstanta Faraday (96.500 C/ equivalen), n merupakan jumlah ekivalen elektron yang terlibat dalam reaksi, a merupakan berat atom, dan t menunjukkan waktu. Apabila persamaan 1 dibagi dengan variabel t dan A (luas permukaan), maka akan menghasilkan persamaan baru yang dinamakan laju korosi,

$$r = \frac{m}{tA} = \frac{ia}{nF} \quad (2)$$

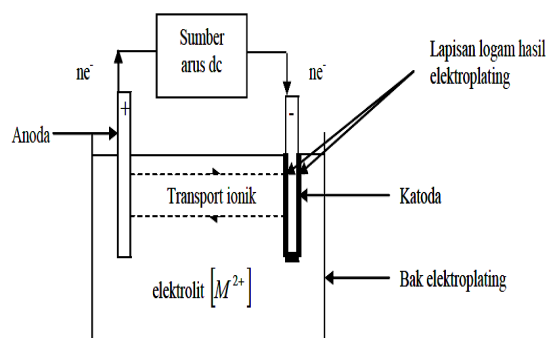
dimana i sebagai densitas arus, nilainya sama dengan I / A dan a / nF merupakan konstanta kesebandingan. Persamaan 2 menunjukkan kesebandingan antara massa per satuan luas per satuan waktu. Jika persamaan 2 dibagi dengan densitas bahan, D maka untuk laju korosi dalam mil per tahun (mils per year, mpy), maka persamaan 2 menjadi :

$$r = 0,129 \frac{ai}{nD} \text{ (mpy)} \quad (3)$$

satuan i yaitu $\mu\text{A} / \text{cm}^2$ dan D yaitu g / cm^3 . Konstanta kesebandingan 0,129 menjadi 0,00327 dalam mm/tahun dan 3,27 dalam $\mu\text{m} / \text{tahun}$ (Jones, 1996).

2. Metodologi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : Baja AISI 1020, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2SO_4 , Serbuk mangan, Aseton, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Aquabidest Rangkaian alat elektroplating ditunjukkan dalam gambar berikut :



Gambar 1. Rangkaian alat elektroplating

Rangkaian alat elektroplating terdiri atas :

1. *Bath* elektroplating yang mengandung garam penghantar, senyawa pengompleks yang mengandung unsur yang sama dengan logam yang akan diplating dalam bentuk terlarut, buffer, zat aditif.
2. Katoda (logam yang akan diplating)
3. Anoda, yang sifatnya *soluble* (mudah larut) ataupun *insoluble* (tak mudah larut)
4. Sumber arus DC

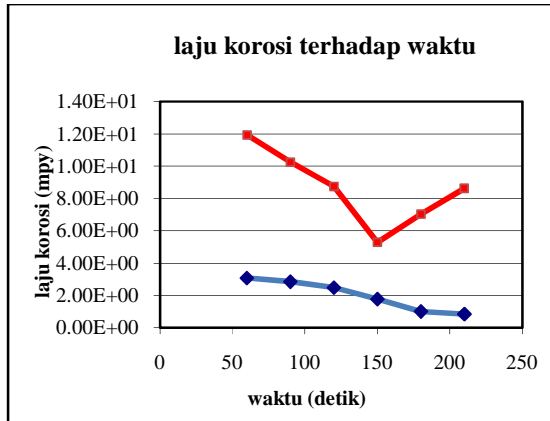
Variabel yang digunakan :

- Konsentrasi *bath* plating : 0,59 M
- Konsentrasi CuSO_4 : 0 M dan 0,01 M
- Waktu elektrolisis : 60 – 210 detik
- pH : 6,8
- Temperatur : 30° C
- Densitas Arus : 40 mA/cm²

3. Hasil Penelitian

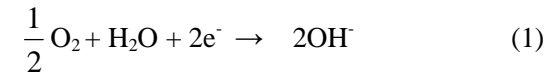
Densitas arus korosi ditentukan dari ekstrapolasi Tafel hasil pengukuran potensiodinamik pada range potensial -1,5 V

sampai +1,5 V dengan menggunakan potensiostat yang dilengkapi dengan *software Gamry Frame Work 3.20*. Hasil penentuan laju arus korosi Mn hasil pelapisan secara elektrolisis pada variasi waktu tanpa dan dengan penambahan zat aditif ditunjukkan pada gambar 2 berikut ini:



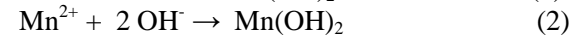
Gambar 2. Grafik laju korosi Mn hasil pelapisan terhadap waktu tanpa dan dengan penambahan zat aditif

Dari gambar 2 dapat diketahui bahwa laju korosi menurun sampai pada waktu deposisi 150 sekon, hal ini disebabkan oleh hubungan linier dengan waktu. Menurut hukum Faraday, meningkatnya waktu deposisi dapat meningkatkan jumlah deposit Mn pada katoda. Akan tetapi, pada saat waktu deposisi 180 sekon, laju korosi meningkat. Logam mangan mempunyai nilai potensial sel yang sangat negatif, sehingga mangan lebih mudah dalam bentuk oksidasinya daripada bentuk reduksinya sehingga logam mangan sangat mudah mengalami pelarutan kembali (*dissolution*). Sifat rapuh dari mangan akibat adanya transformasi dari fase *ductile* γ -Mn menuju ke fase *brittle* α -Mn pada temperatur ruang. Pada proses pelapisan mangan pada baja, terjadi suatu mekanisme yang disebut sebagai transfer elektron, atau lazim disebut polarisasi aktivasi. Reaksi yang terjadi dalam penelitian ini ialah sebagai berikut :



Melalui persamaan diatas, dapat diketahui bahwa lapisan yang terbentuk di katoda adalah lapisan $\text{Mn}(\text{OH})_2$, tetapi ketika waktu deposisi ditingkatkan maka reaksi yang terjadi adalah reaksi 3 yakni dengan pembentukan senyawa Mn oksihidroksida, $\text{MnO}(\text{OH})_2$.

Pada gambar 2 juga terlihat laju korosi menurun dengan bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan oleh adanya zat aditif Cu^{2+} yang memperbaiki ketahanan korosi Mn hasil pelapisan. Dengan meningkatnya waktu maka konduktivitas dan mobilitas ion (Cu^{2+} dan Mn^{2+}) menurun. Konduktivitas dan mobilitas ion sebanding dengan densitas arus. Atom Cu memiliki jari-jari yang lebih kecil dari atom Mn sehingga ion Cu^{2+} lebih mudah bergerak dan menempel terlebih dahulu pada katoda. Densitas arus korosi lapisan mangan dengan adanya zat aditif Cu^{2+} lebih kecil dari densitas arus korosi lapisan mangan tanpa penambahan zat aditif Cu^{2+} . Hal ini disebabkan karena semakin banyak ion Cu^{2+} yang terendapkan menjadi Cu pada permukaan baja. Reaksi yang terjadi selama pelapisan sebagai berikut :

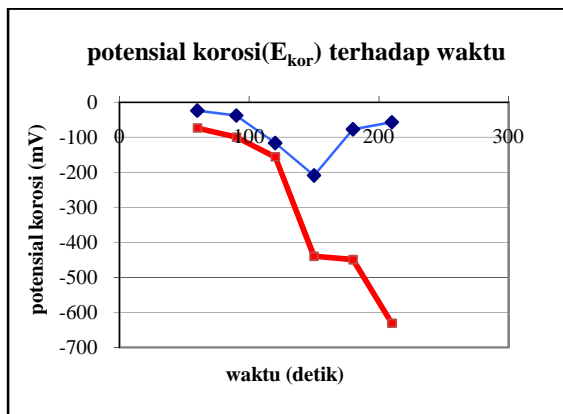


Prosentase penurunan laju korosi baja yang telah dilapisi oleh logam mangan dihitung dari laju korosi baja sebelum dilapisi mangan sebesar 37.35 mpy dan ditunjukkan pada tabel 1. Baja dengan pelapis mangan dapat mengalami penurunan laju korosi 68 – 81%, sedangkan bahan pelapis mangan dan tembaga dapat menurunkan laju korosi 92 – 98%.

Tabel 1. Prosentase penurunan laju korosi Baja AISI 1020 dengan bahan pelapis Mangan tanpa dan dengan penambahan zat aditif

Waktu (detik)	% Penurunan Laju Korosi	
	Pelapis Mn tanpa penambahan Cu	Pelapis Mn dengan penambahan Cu
60	68%	92%
90	73%	92%
120	77%	93%
150	86%	95%
180	81%	97%
210	77%	98%

Potensial korosi bebas (E_{korosi}) diperoleh dari data kurva potensiodinamik yang telah diekstrapolasi Tafel. Potensial korosi Mn hasil pelapisan dalam media NaCl 3,5 % dengan variasi waktu tanpa dan dengan penambahan zat aditif ditunjukkan pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Grafik potensial korosi Mn hasil pelapisan terhadap waktu tanpa dan dengan penambahan zat aditif

Dari gambar 3 dapat diketahui bahwa potensial korosi Mn menurun ketika waktu deposisi 150 sekon kemudian meningkat ketika waktu deposisi 180 sekon. Potensial korosi Mn hasil pelapisan dengan penambahan zat aditif Cu^{2+} hampir seluruhnya lebih negatif daripada potensial korosi Mn hasil pelapisan tanpa penambahan zat aditif Cu^{2+} . Perubahan potensial korosi dapat disebabkan oleh beberapa faktor

antara lain densitas arus pertukaran reaksi katodik, efek oksidizer dan polarisasi konsentrasi. Perubahan waktu deposisi mempengaruhi hasil lapisan yang terbentuk sehingga berpengaruh pada densitas arus pertukaran reaksi katodik.

Penggunaan logam sebagai anoda tumbal pada baja karbon dapat dihubungkan dengan nilai E_{oc} (Potensial Rangkaian Terbuka). Apabila potensial rangkaian terbuka (E_{oc}) memiliki nilai negatif akan terjadi proses pelarutan logam sehingga dapat digunakan sebagai anoda tumbal, jika nilainya positif akan sesuai untuk proses inhibisi ditandai dengan pembentukan lapisan oksida yang akan bertindak sebagai lapisan penghalang atau *barrier* selama proses korosi berlangsung. Nilai E_{oc} Mn hasil pelapisan pada baja karbon dengan variasi waktu tanpa dan dengan penambahan zat aditif dapat ditunjukkan tabel 2.

Tabel 2. Harga E_{oc} pada Variasi waktu tanpa penambahan zat aditif

Waktu (detik)	E_{oc} rata-rata (V)	E_{oc} rata-rata (V)
60	-0,195471	-0,269274
90	-0,212327	-0,448156
120	-0,28979	-0,46193
150	-0,34197	-0,55533
180	-0,21182	-0,633939
210	-0,18843	-0,804421

Dari tabel 2 terlihat bahwa peningkatan waktu deposisi dapat meningkatkan nilai E_{oc} . Pada pelapisan mangan tanpa menggunakan aditif, E_{oc} menurun sampai pada waktu deposisi 150 sekon dan naik kembali pada waktu deposisi 180 dan 210 sekon. Sedangkan dengan penambahan aditif, E_{oc} terus menurun sampai waktu deposisi 210 sekon. Secara keseluruhan dapat ditunjukkan, bahwa harga E_{oc} pada setiap variasi waktu deposisi lebih negatif dari E_{oc} baja AISI

1020 (0,16021 V), sehingga mangan dapat digunakan sebagai elektroda tumbal.

Penambahan sejumlah kecil Cu^{2+} pada proses elektroplating mangan dari ion logam ini mempengaruhi keadaan kimia dari deposit dan berakibat pada sifat mekanik dan ketahanan korosinya. Sejumlah kecil ion logam Cu^{2+} yang ditambahkan pada elektrolit untuk elektrodeposisi mangan meningkatkan karakter metalik dari pertumbuhan lapisan Mn amorf. Lapisan Mn amorf dengan penambahan Cu^{2+} memiliki sifat mekanik yang sangat berbeda daripada lapisan Mn amorf yang terelektrodeposisi tanpa penambahan ion Cu^{2+} . Pada elektroplating mangan, ion Cu^{2+} dapat menghambat inklusi yang terjadi pada lapisan mangan selama elektrolisis berlangsung. Ion Cu^{2+} juga dapat menghambat laju oksidasi pada larutan.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara keseluruhan logam Mn hasil pelapisan menghasilkan E_{oc} lebih negatif dari baja karbon sehingga dapat digunakan sebagai anoda tumbal. Penambahan sejumlah kecil ion logam Cu^{2+} pada elektrolit untuk elektrodeposisi mangan meningkatkan karakter metalik dari pertumbuhan lapisan Mn amorf. Selama proses elektroplating mangan, ion Cu^{2+} dapat menghambat inklusi yang terjadi pada lapisan mangan selama elektrolisis berlangsung. Secara keseluruhan dapat ditunjukkan, bahwa harga E_{oc} pada setiap variasi waktu deposisi lebih negatif dari E_{oc} baja AISI 1020 (0,16021 V). Baja dengan pelapis mangan dapat mengalami penurunan laju korosi 68 – 81%, sedangkan bahan pelapis mangan dan tembaga dapat menurunkan laju korosi 92 – 98%.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada DIKTI yang telah membiayai penelitian ini

melalui pelaksanaan hibah DIPA tahun anggaran 2011.

Daftar Pustaka

- Adamson, A.W., (1990), *Physical Chemistry of Surface*, 5th edition, New York, John Wiley & Sons Inc.
- Armanto, Hari dan Daryanto, (1997), *Ilmu Bahan*, P.T. Bumi Aksara, Jakarta
- Callister, William D., (2003), *Materials Science and Engineering : An Introduction*, John Wiley & Sons Inc, New York
- Cullum, D.C., (1994), *Introduction to Surfactant Analysis*, Blackie Academic and Professional, London
- El-Giar, Said and brides, Thomson, (1999), Localized electrochemical Deposition of Copper Microstructure, *Journal of the Electrochemical Society*, vol 147, hal 176 – 189
- Jie Gong, Giovanni, Z. (2002), Electrodeposition and Characterization of Manganese Coatings, *Journal of Electrochemical Society*, 149, hal 209 – 217
- Jie Gong, Giovanni, Z. (2004), Electrodeposition and Characterization of Sacrificial Copper-Manganese Alloy Coatings, *Journal of Electrochemical Society*, 151, hal 297-306
- Jie Gong, Giovanni, Z. (2004), Increased Metallic Character of Electrodeposited Mn Coatings Using Metal Ion Additives, *Electrochemical and Solid State Letters*, 7, hal 91 – 94
- Jones, D.A., (1996), *Principles and Prevention of Corrosion*, Second Edition, Prentice Hall, London
- Landolt, D, (2002), *Electrodeposition Science and Technology in Last Quarter of Twentieth Century*, Swiss

Federal Institute of Technology
Laussane, Switzerland

Lowenheim, Frederick A., (1985), *Modern Electroplating*, 3rd edition, New York, John Wiley & Sons Inc, New York

Trethewey, Kenneth R. dan Chamberlain, John, (1991), *Korosi Untuk Mahasiswa, Sains dan Rekayasa*, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta

Uhlig, Herbert H. And Revie R. Winston, (1985), *Corrosion and Corosion Control*, John Wiley & Sons, New York

Suherman, Wahid (1987), *Pengetahuan Bahan*, Jurusan Teknik Mesin ITS, Surabaya.

Oentoeng, (2004), *Konstruksi Baja*, Andi Offset, Yogyakarta

Othmer-Kirk (1984), *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3th edition, Vol 8, John Wiley & Sons Inc, New York

Pletcher, Derek dan Walsh, Frank C., (1990), *Industrial Electrochemistry*, Chapman and Hall, New York