

**PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU ELEKTROPLATING Cu-Mn
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1020 DALAM MEDIUM
KOROSIF NaCl 3%**

(Skripsi)

Oleh

RATNA NOVIYANA



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU ELEKTROPLATING Cu-Mn TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1020 DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3%

Oleh

RATNA NOVIYANA

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh rapat arus dan waktu elektroplating Cu-Mn terhadap laju korosi baja AISI 1020 dalam medium korosif NaCl 3%. Pengujian laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat dengan merendam sampel dalam medium korosif NaCl selama 168 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu elektroplating dan semakin besar rapat arus yang digunakan maka laju korosi akan semakin berkurang. Hal ini karena semakin banyaknya ion Cu dan Mn yang mengendap pada permukaan sampel setelah elektroplating. Laju korosi terendah diperoleh pada waktu elektroplating 50 detik dan rapat arus 75 mA/cm^2 yaitu 0,053 mmpy. Hasil analisis mikroskop metalurgi menunjukkan bahwa lapisan pada sampel hasil elektroplating tampak lebih tebal dengan meningkatnya rapat arus dan waktu elektroplating, sedangkan setelah uji korosi lapisan menjadi berwarna hitam dan beberapa lapisan sampel terdapat retakan akibat terkorosi. Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan *raw material* baja AISI 1020 setelah uji korosi mengalami perubahan fasa dari besi menuju bentuk oksidanya yaitu fasa *magnetite* (Fe_3O_4).

Kata kunci: Baja AISI 1020, elektroplating Cu-Mn, dan NaCl.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF CURRENT DENSITY AND TIME OF ELECTROPLATING Cu-Mn TO CORROSION RATE OF STEEL AISI 1020 IN CORROSIVE MEDIUM NaCl 3%

By

RATNA NOVIYANA

The influence of current density and time of electroplating Cu-Mn to corrosion rate of Steel AISI 1020 in corrosive medium NaCl 3% had been researched. Corrosion rate testing is used weight loss method by soaking the samples in the corrosive medium NaCl for 168 hours. The results showed that the longer time of electroplating and the greater current density that are used, the corrosion rate will be decreased. This is because the increasing of Cu and Mn ions deposited on the surface of the sample after electroplating. The lowest corrosion rate obtained at the time of 50 seconds and current density 75 mA/cm^2 that is 0,053 mmpy. The analysis results of metallurgical microscope showed that the coating looks thicker with increasing current density and time of electroplating, while after corrosion rate tested the coatings being black and a few coating of samples were cracked due to corrosion. The X-Ray Diffraction (XRD) characterization result showed that the phase of AISI 1020 raw material after corrosion tested is changed from pure iron (Fe) to magnetite phase (Fe_3O_4).

Keywords: *Steel AISI 1020, Electroplating Cu-Mn, NaCl 3%*

**PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU ELEKTROPLATING Cu-Mn
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1020 DALAM MEDIUM
KOROSIF NaCl 3%**

Oleh

RATNA NOVIYANA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **PENGARUH RAPAT ARUS DAN WAKTU ELEKTROPLATING Cu-Mn TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1020 DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3%**

Nama Mahasiswa : **Ratna Noviyana**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1317041035**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. Komisi Pembimbing


Drs. Edlman Ginting Suka, M.Si
NIP. 19570825 198603 1 002


Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T
NIP. 19850427 200912 1 003

2. Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

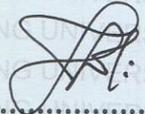
Ketua

: Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.



Sekretaris

: Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.

NIP. 19710212 199512 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 November 2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 November 2017



Ratna Noviyana
NPM. 1317041035

RIWAYAT HIDUP



Penulis dengan nama lengkap Ratna Noviyana dilahirkan di Desa Kuta Dalom Kecamatan Waylima Kabupaten Pesawaran pada tanggal 19 November 1995. Anak terakhir dari pasangan Bapak Azhar Fatah dan Ibu Yoyoh Ernawati. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Tanjung Agung pada tahun 2007, MTs N Kedondong pada tahun 2010 dan SMA N 1 Gedong Tataan pada tahun 2013.

Selanjutnya pada tahun 2013 penulis diterima menjadi mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu di Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota Sains dan Teknologi periode 2014-2016. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum Fisika Dasar I, Sains Dasar Fisika dan Fisika Eksperimen. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Serpong dengan judul **“Penentuan Ketebalan Bahan Berdasarkan Analisis Pencitraan Neutron”**. Kemudian penulis melakukan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Elektroplating Cu-Mn Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1020 Dalam Medium Korosif NaCl 3%”** di Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) – LIPI, Tanjung Bintang Lampung Selatan.

MOTTO

*Menuntut Ilmu Adalah Taqwa, Menyampaikan
ilmu Adalah Ibadah, Mengulang-ulang Ilmu
Adalah Zikir dan Mencari Ilmu adalah Jihad*

-Imam Al Gazali-

*If we stop trying, that means we are no
better than a coward*

-Bambang Pamungkas-

Aku persembahkan karya kecilku ini kepada

ALLAH SWT

*Kedua Orang Tuaku tercinta yang selalu
mendo'akan dan meridhai setiap langkahku
serta menjadi motivator terbesarku*

*Kakak-Kakak ku serta keluarga besar yang
menjadi penyemangatku*

Almamater Tercinta.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Elektroplating Cu-Mn Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1020 Dalam Medium Korosif NaCl 3%”**. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada suri tauladan terbaik kita Rasulullah SAW. Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, 28 November 2017

Penulis,

Ratna Noviyana

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Elektroplating Cu-Mn Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1020 Dalam Medium Korosif NaCl 3%”** sebagai salah satu pertanggungjawaban kelulusan sebagai sarjana.

Penulis menyadari bahwa selama melakukan penelitian tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, motivasi serta do'a dari pihak lain. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis Bapak Azhar Fatah dan Ibu Yoyoh Ernawati yang tidak pernah berhenti mendoakan penulis.
2. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si., sebagai Pembimbing I yang telah memberikan masukan, saran dan arahan kepada penulis.
3. Bapak Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T., sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam membimbing dan membantu penulis menyelesaikan penelitian.
4. Ibu Dr. Yanti Yulianti, M.Si., sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
5. Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) - LIPI dan pihak-pihak terkait yang telah membantu penulis selama pelaksanaan penelitian.

6. Bapak Tatang Solihin yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian mulai dari preparasi hingga pengambilan data.
7. Ibu Nurbaiti Marsas Prilitasari, S.T., dan Mba Yepi Apriani, S.Si., yang telah membantu penulis di Laboratorium.
8. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan nasehat dan saran selama masa perkuliahan.
9. Bapak Prof. Dr. Warsito, S.Si., D. E. A., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
10. Bapak Arif Surtono, S.Si., M. Si., M. Eng., selaku Ketua Jurusan Fisika.
11. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S. Si., M. T., sebagai Sekertaris Jurusan Fisika.
12. Seluruh Dosen di Jurusan Fisika yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
13. Ketiga Kakak penulis Anna Septiana, Peti Apriyani dan Ria Putri Lestari yang selalu memberikan doa dan semangat bagi penulis.
14. Teman seperjuanganku Aisiyah Putri Sandi terima kasih kerjasamanya, serta teman-teman seperjuangan yang lain Sinta Novita, Reza dan Heru.
15. Sahabat-sahabat yang selalu mendukung dan menemani penulis berjuang Maria, Mardi, Arta, Sinta Setiani, Ari, Isma, Ilwan, Nia dan Inda.
16. Teman-teman fisika angkatan 2013 yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Bandar Lampung, 28 November 2017

Penulis

Ratna Noviyana

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
COVER DALAM	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Baja	7
2.1.1 Pengertian Baja	7
2.1.2 Klasifikasi Baja	10
2.2 Korosi	13
2.2.1 Mekanisme Korosi	13
2.2.2 Jenis-Jenis Korosi	15
2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi	20
2.2.4 Pengendalian Korosi	21
2.3 Electroplating	24
2.3.1 Prinsip Dasar Electroplating	24
2.3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Electroplating	27
2.4 Electroplating dengan Anoda Tumbal	28
2.5 Penentuan Laju Korosi	31
2.6 Karakterisasi Material	32
2.6.1 <i>X-ray Fluorescence</i> (XRF)	32
2.6.2 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD)	34
III. METODE PENELITIAN	37
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2 Alat dan Bahan	37
3.3 Metode Penelitian	38
3.3.1 Preparasi Sampel Baja	38
3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit dan Proses Electroplating	38
3.3.3 Penentuan Laju Korosi	39
3.4 Diagram Alir Penelitian	40
3.4.1 Preparasi Sampel Baja	41
3.4.2 Pembuatan Larutan Elektrolit dan Tahap Electroplating	41
3.4.3 Penentuan Laju Korosi	42
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Data Penelitian Electroplating	44
4.2 Data Penelitian Laju Korosi	53
4.3 Analisis Mikroskop Metalurgi	57
4.4 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	63
V. KESIMPULAN DAN SARAN	70
5.1 Kesimpulan	70
5.2 Saran	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Mekanisme korosi	14
Gambar 2. Korosi merata	15
Gambar 3. Korosi galvanik	16
Gambar 4. Korosi celah.....	17
Gambar 5. Korosi sumuran	17
Gambar 6. Korosi batas butir	18
Gambar 7. Korosi erosi	18
Gambar.8. Korosi regangan	19
Gambar 9. Korosi mikrobiologi	19
Gambar 10. Korosi selektif	20
Gambar 11. Skema sederhana proses elektroplating	24
Gambar 12. Proses terjadinya sinar-X	33
Gambar 13. Skema difraksi sinar-X	34
Gambar 14. Diagram alir preparasi baja	41
Gambar 15. Diagram alir elektroplating	42
Gambar 16. Diagram alir penentuan laju korosi	43
Gambar 17. Hubungan waktu elektroplating dengan massa endapan.....	45
Gambar 18. Pengaruh waktu elektroplating terhadap peningkatan kadar Cu dan Mn	47

Gambar 19. Hubungan rapat arus elektroplating dengan massa endapan.....	49
Gambar 20. Pengaruh rapat arus elektroplating terhadap peningkatan kadar Cu dan Mn.....	51
Gambar 21. Pengaruh waktu elektroplating terhadap laju korosi	54
Gambar 22. Pengaruh rapat arus elektroplating terhadap laju korosi	56
Gambar 23. Analisis mikroskop metalurgi baja AISI 1020 hasil elektroplating variasi waktu dengan perbesaran 100x	57
Gambar 24. Analisis mikroskop metalurgi baja hasil elektroplating dengan variasi waktu setelah uji korosi dengan perbesaran 100x.....	59
Gambar 25. Analisis mikroskop metalurgi baja AISI 1020 hasil elektroplating variasi rapat arus dengan perbesaran 100x	61
Gambar 26. Analisis mikroskop metalurgi baja hasil elektroplating dengan variasi rapat arus setelah uji korosi dengan perbesaran 100x	62
Gambar 27. Difraktogram sampel sebelum elektroplating	64
Gambar 28. Difraktogram sampel setelah elektroplating dengan waktu 10 detik dan rapat arus 35 mA/cm^2	65
Gambar 29. Difraktogram sampel setelah elektroplating dengan waktu 50 detik dan rapat arus 75 mA/cm^2	66
Gambar 30. Difraktogram sampel tanpa elektroplating setelah uji korosi selama 168 jam	67
Gambar 31. Difraktogram sampel elektroplating waktu 10 detik rapat arus 35 mA/cm^2 setelah uji korosi selama 168 jam	68
Gambar 32. Difraktogram sampel elektroplating waktu 50 detik rapat arus 75 mA/cm^2 setelah uji korosi selama 168 jam	69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi kimia baja AISI 1020	12
Tabel 2. Potensial reduksi standar	29
Tabel 3. Konstanta laju korosi berdasarkan satuannya	32
Tabel 4. Data penelitian elektroplating dengan variasi waktu pada rapat arus tetap 35 mA/cm^2	45
Tabel 5. Analisis <i>XRF portable</i> baja sebelum dan setelah elektroplating dengan variasi waktu pada rapat arus tetap 35 mA/cm^2	46
Tabel 6. Data penelitian elektroplating dengan variasi rapat arus pada waktu tetap 50 detik	48
Tabel 7. Analisis <i>XRF portable</i> baja sebelum dan setelah elektroplating dengan variasi rapat arus pada waktu tetap 50 detik	50
Tabel 8. Data penelitian laju korosi dengan variasi waktu elektroplating pada rapat arus tetap 35 mA/cm^2	53
Tabel 9. Data penelitian laju korosi dengan variasi rapat arus elektroplating pada waktu tetap 50 detik	55

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan faktor utama yang sangat penting bagi perkembangan industri suatu bangsa. Semua aspek kehidupan mulai dari peralatan rumah tangga, bahan dasar pada peralatan industri, konstruksi jembatan, bangunan dan juga kapal menggunakan baja sebagai bahan dasar utamanya (Surdia dan Saito, 1999). Akan tetapi baja memiliki kelemahan yaitu sangat reaktif dan memiliki kecenderungan yang besar untuk terserang korosi ketika berada di udara, lingkungan berair maupun media asam (Gong *et al.*, 2005). Seperti yang kita ketahui, daerah Lampung umumnya terdiri dari tanah pegunungan dan daratan rendah serta diapit dengan dua pulau dan satu selat. Selain itu, daerah Lampung juga identik dengan daerah pantai dan pelabuhan. Hal ini membuat atmosfer di Lampung seperti iklim, cuaca, temperatur dan kelembaban dapat berubah setiap saat dan menjadikan daerah Lampung sebagai lingkungan yang cukup mendukung untuk terjadinya korosi (Setiawan, 2011).

Korosi atau yang lebih dikenal dengan istilah pengurangan merupakan peristiwa kerusakan suatu logam yang terjadi karena adanya faktor metalurgi serta akibat dari pengaruh lingkungan sehingga dapat menurunkan kualitas bahan logam tersebut (Bayliss and Deacon, 2002). Korosi merupakan masalah yang sangat

serius dalam dunia material, karena dapat mengakibatkan kerugian-kerugian yang besar di berbagai bidang seperti industri dan konstruksi, termasuk industri minyak dan gas serta perusahaan yang bergerak terhadap pelayanan publik seperti pembangkit listrik dan perusahaan air minum. Beberapa contoh nyata dampak yang ditimbulkan korosi yaitu pada tahun 1980 di Amerika Serikat, Institut Battelle menaksir bahwa setiap tahun perekonomian Amerika rugi 7 milyar dolar akibat korosi dan hampir 95% kerusakan beton di Wilayah pesisir Teluk Arab disebabkan oleh korosi (Zaki, 2006). Mengacu pada kerugian-kerugian yang ditimbulkan akibat korosi ini, maka dibutuhkan penanggulangan untuk mengatasi masalah tersebut. Terjadinya korosi ini tidak dapat dihindari, namun lajunya dapat dikendalikan. Salah satu upaya pengendalian korosi dapat dilakukan dengan metode elektroplating.

Elektroplating adalah suatu metode pelapisan permukaan material yang berlangsung di dalam larutan elektrolit dengan cara dialiri arus listrik melalui anoda menuju spesimen yang berfungsi sebagai katoda (Saleim *et al.*, 2014). Keunggulan dari metode ini antara lain: proses yang terjadi cukup sederhana, memiliki selektivitas tinggi dan memiliki *throwing power* yang baik (Landolt, 2002). Salah satu jenis pelapisan logam yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan anoda tumbal (Afriani dkk, 2014). Logam mangan mempunyai potensial reduksi standar yang sangat kecil sehingga dapat digunakan sebagai anoda tumbal dari baja. Logam mangan juga memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki sifat yang ramah lingkungan, memiliki koefisien gesek yang rendah, sifat mekanik yang baik dan harganya relatif murah (Gong and Zangari, 2002). Akan tetapi, secara kimia mangan murni memiliki kereaktifan tinggi dan sifat

yang rapuh (*brittle*) (Gong and Zangari, 2004) sehingga perlu dipadukan dengan logam lain seperti seng (Ortiz *et al.*, 2009; Arista *et al.*, 2009), tembaga atau timah untuk mengurangi tegangan internal dan memperbaiki ketahanan korosi (Gong *et al.*, 2005).

Penelitian Gong and Zangari (2002) menunjukkan bahwa sifat Mn yang rapuh (*brittle*) merupakan hasil perubahan fasa endapan mangan pada suhu ruang yaitu dari γ -Mn *ductile* ke fasa α -Mn *brittle*. Perubahan fasa ini dapat dicegah secara efektif dengan penambahan tembaga (Cu) (Gong and Zangari, 2006). Tembaga (Cu) dan paduannya secara luas digunakan di banyak lingkungan dan aplikasi karena stabilitas dan ketahanan korosi yang sangat baik (Supriadi dkk, 2013). Penambahan sejumlah kecil tembaga pada proses elektroplating mangan dapat menghambat laju oksidasi pada medium korosif 3% NaCl sehingga meningkatkan ketahanan korosi lapisan mangan tersebut (Gong and Zangari, 2004). Triastuti dan Purwanto (2012) meneliti efek penambahan ion tartrate terhadap elektrodeposisi Cu-Mn pada pipa baja karbon, dan hasilnya menunjukkan bahwa laju korosi Cu-Mn hasil elektrodeposisi dengan penambahan ion tartrate lebih rendah dibandingkan tanpa penambahan ion tartrate. Chockalingam *et al.*, (2013) menggunakan larutan dasar *potaasium periodate* pada proses elektrodeposisi Cu-Mn untuk meminimalisir korosi galvanik pada antarmuka lapisan. Penelitian karakter fisik dan korosi mangan hasil pelapisan pada baja karbon rendah menunjukkan bahwa baja dengan pelapis mangan dapat mengalami penurunan laju korosi 68-81%, sedangkan baja dengan pelapis mangan dan tembaga dapat menurunkan laju korosi 92-98% (Triastuti dan Subekti, 2013).

Pada penelitian kali ini, baja yang digunakan adalah baja AISI 1020 yang banyak diaplikasikan sebagai material utama konstruksi serta sistem perpipaan pada kapal laut. Baja AISI 1020 dielektroplating dengan variasi rapat arus dan waktu elektroplating menggunakan larutan elektrolit yang mengandung ion Cu^{2+} dan Mn^{2+} untuk membentuk lapisan Cu-Mn. Kemudian baja tersebut direndam dalam medium korosif NaCl 3% dengan lama perendaman selama 168 jam. Sampel baja hasil elektroplating dan uji korosi akan dikarakterisasi dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk menganalisis unsur yang terkandung pada baja, mikroskop metalurgi untuk melihat struktur permukaan baja, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat fasa-fasa yang terbentuk pada baja dan penentuan laju korosi baja dilakukan menggunakan metode kehilangan berat.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu elektroplating terhadap laju korosi baja AISI 1020 dalam medium korosif NaCl 3%?
2. Bagaimana pengaruh rapat arus elektroplating terhadap laju korosi baja AISI 1020 dalam medium korosif NaCl 3%?
3. Bagaimana struktur permukaan, fasa dan unsur-unsur yang terkandung pada baja AISI 1020 setelah elektroplating dan setelah direndam dalam larutan NaCl 3%?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah baja AISI 1020.
2. Pelapisan baja menggunakan lapisan paduan Cu-Mn dengan variasi rapat arus dan waktu elektroplating.
3. Medium korosif yang digunakan adalah NaCl dengan konsentrasi 3%.
4. Laju korosi dihitung dengan metode kehilangan berat.
5. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan mikroskop metalurgi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilaksanakan ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh waktu elektroplating terhadap laju korosi baja AISI 1020 dalam medium korosif NaCl 3%.
2. Mengetahui pengaruh rapat arus elektroplating terhadap laju korosi baja AISI 1020 dalam medium korosif NaCl 3%.
3. Mengetahui struktur permukaan, fasa dan unsur-unsur yang terkandung pada baja AISI 1020 setelah elektroplating dan setelah direndam dalam medium korosif NaCl 3%.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Untuk memberikan informasi mengenai pengaruh rapat arus dan waktu elektroplating terhadap laju korosi baja AISI 1020 dalam medium korosif NaCl 3%.
2. Dapat menjadi tambahan referensi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terutama di Jurusan Fisika.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

2.1.1 Pengertian Baja

Baja merupakan salah satu material yang bentuknya mudah disesuaikan sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Baja pada dasarnya adalah paduan murni dari besi dan karbon dengan konsentrasi karbon yang jauh lebih rendah (Budiyanto *et al*, 2016). Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai dengan *grade*-nya. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain selain besi dan karbon. Baja karbon juga mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu, seperti mangan (Mn), krom (Cr), vanadium (V) dan nikel (Ni) (Surdia dan Saito, 1999). Adapun pengaruh unsur paduan pada baja adalah sebagai berikut (Timings, 1991; Ahmad, 2011).

1. Karbon (C)

Karbon merupakan unsur penting pada baja yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja, tapi dalam jumlah yang banyak akan menurunkan ketangguhan (*thoughness*) baja tersebut. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1-1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi sesuai dengan kegunaan baja. Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja

membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifat-sifat yang khusus.

2. Mangan (Mn)

Mangan terdapat di semua baja dengan jumlah yang kecil karena sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja dan sebagai pencegah oksidasi. Penambahan unsur mangan dalam baja dapat meningkatkan kuat tarik tanpa mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan kenyal. Selain itu mangan juga dapat mencegah terjadinya *hot shortness* (kegetasan pada suhu tinggi) terutama pada saat pengerolan panas.

3. Fosfor (P)

Unsur fosfor membuat baja mengalami retak dingin (*cold shortness*) atau getas pada suhu rendah, sehingga tidak baik untuk baja yang dalam aplikasinya diberi beban benturan pada suhu rendah. Tetapi efek baiknya adalah fosfor dapat meningkatkan fluiditas yang membuat baja mudah dirol panas. Kandungan fosfor dalam baja biasanya kurang dari 0,05%.

4. Sulfur (S)

Kadar sulfur dalam baja harus dibuat serendah-rendahnya. Hal ini karena sulfur dapat membuat baja menjadi getas pada suhu tinggi, sehingga dapat merugikan baja yang diaplikasikan pada suhu tinggi. Di samping itu, juga akan menyulitkan dalam proses pengerjaan baja.

5. Silikon (Si)

Kadar silikon menentukan seberapa bagian dari karbon yang terkait dengan besi dan seberapa bagian terbentuk grafit (kadar karbon bebas) setelah mencapai keadaan seimbang. Kelebihan unsur silikon akan membentuk

ikatan yang keras dengan besi, sehingga dapat dikatakan bahwa silikon dengan kadar di atas 3,2% akan meningkatkan kekerasan.

6. Nikel (Ni)

Nikel dapat meningkatkan kekuatan regangan baja sehingga baja paduan menjadi liat dan tahan tarikan. Penambahan unsur nikel pada baja karbon juga akan berpengaruh terhadap ketahanan korosinya.

7. Chromium (Cr)

Sifat unsur kromium dapat menurunkan laju pendinginan kritis. Penambahan kromium pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat kekerasan baja lebih baik karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Selain itu, kromium dapat menambah kekuatan tarik dan keplastisan serta berguna juga dalam membentuk lapisan pasif untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu tinggi.

8. Molybdenum (Mo)

Penambahan molybdenum pada baja akan menghasilkan baja karbon yang tahan terhadap suhu tinggi, liat dan kuat.

9. Vanadium (V)

Unsur vanadium akan memperbaiki struktur kristal baja menjadi lebih halus. Unsur ini juga akan menjadikan baja lebih tahan aus, terlebih bila dicampur dengan kromium.

2.1.2 Klasifikasi baja

Menurut ASM handbook (1993), baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya seperti kadar karbon dan paduan yang digunakan. Adapun klasifikasi baja berdasarkan komposisinya adalah sebagai berikut:

1. Baja karbon

Baja karbon merupakan logam paduan antara besi dan karbon dengan adanya sedikit unsur lain seperti Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon sangat bergantung pada kadar karbon yang ada pada baja tersebut. Berdasarkan kadar karbonnya, baja karbon dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

a. Baja Karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah atau yang sering disebut dengan baja ringan (*mild steel*) merupakan baja dengan kandungan logam kurang dari 0.3% . Baja karbon rendah biasanya diaplikasikan pada pembuatan badan mobil, pipa gedung, jembatan, pagar dan lain-lain. Hal ini karena baja karbon rendah memiliki keuletan dan ketangguhan yang sangat tinggi, tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Selain itu, baja jenis ini juga mudah dilas.

b. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang memiliki kandungan unsur karbon sekitar 0.30%-0.60%. Kekerasan baja karbon sedang lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon rendah. Selain itu, baja karbon sedang memiliki kualitas perlakuan panas yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit untuk dilakukan pengelasan dan dapat dikeraskan

(*quenching*) dengan baik. Aplikasi baja karbon sedang banyak diterapkan pada poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang mengandung unsur karbon berkisar 0.6%-1.7%. Baja karbon tinggi memiliki kekutan, kekerasan dan kekuatan tarik paling tinggi dibandingkan dengan baja karbon lainnya. Namun keuletan baja ini lebih rendah jika dibandingkan dengan baja karbon rendah dan sedang. Baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat perkakas, seperti palu, gergaji atau pahat potong (Fox, 1979).

2. Baja Paduan

Baja paduan merupakan baja yang terbuat dari campuran satu atau lebih unsur campuran, seperti nikel (Ni), mangan (Mn), molybdenum (Mo), kromium (Cr) dan vanadium (V) yang bertujuan untuk memperoleh sifat-sifat baja yang diinginkan seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletannya. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda akan memberikan sifat khas pada baja tersebut. Berdasarkan kandungan unsur paduan yang ada di dalamnya, baja paduan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu:

a. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja yang memiliki unsur paduan (Cr, Mn, Ni, S, Si, P) kurang dari 2.5% berat. Dengan adanya penambahan unsur paduan pada baja, kekuatan dan ketangguhan dapat ditingkatkan tanpa mengurangi keuletan, daya tahan terhadap korosi dan aus. Baja

paduan rendah banyak diaplikasikan pada kapal, jembatan, ketel uap, tangki gas, pipa gas dan sebagainya.

b. Baja Paduan Sedang (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang memiliki unsur paduan berkisar 2.5%-10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

c. Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi memiliki elemen paduan lebih dari 10%wt, seperti unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Contohnya seperti baja tahan karat, baja perkakas dan baja mangan. Aplikasinya digunakan pada, bejana tekan, baja pegas, *cutting tools*, frogrel kereta api dan lain sebagainya (Surdia dan Saito, 1999).

Baja AISI 1020 merupakan salah satu baja jenis karbon rendah yang banyak tersedia dalam bentuk plat maupun tabung. Aplikasi umum dari baja ini adalah baut, sekrup, roda gigi, batang piston untuk mesin dan komponen *landing gear* pesawat terbang (ASM handbook, 1993). Selain itu, baja AISI 1020 juga diaplikasikan pada sistem perpipaan kapal laut (Triastuti dan Purwanto, 2012). Berikut ini komposisi kimia baja AISI 1020.

Tabel 1. Komposisi kimia baja AISI 1020 (Astuti, 2016).

Unsur	Komposisi (%)
Karbon (C)	0,17 – 0,23
Mangan (Mn)	0,3 - 0,6
Pospor (P)	≤ 0,04
Sulfur (S)	≤0,05
Besi (Fe)	99,08 – 99,53

2.2 Korosi

2.2.1 Korosi dan Mekanismenya

Korosi berasal dari bahasa latin “*Corrode*” yang artinya berkarat atau merusak logam. Korosi atau yang lebih dikenal dengan istilah pengkaratan merupakan peristiwa kerusakan suatu logam yang terjadi karena adanya faktor metalurgi (pada material itu sendiri) serta akibat dari pengaruh lingkungan (suhu, kelembaban dan lainnya) sehingga dapat menurunkan kualitas bahan logam tersebut (Bayliss and Deacon, 2002). Korosi tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron ini merupakan hasil dari reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi anodik di daerah anoda (Perez, 2004). Berikut reaksi anodik yang terjadi pada korosi logam:



Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion (n^{+}) dalam pelepasan n elektron. Nilai dari n tergantung dari sifat logam, contohnya jika pada besi maka reaksi yang terjadi sebagai berikut (Broomfield, 2007).



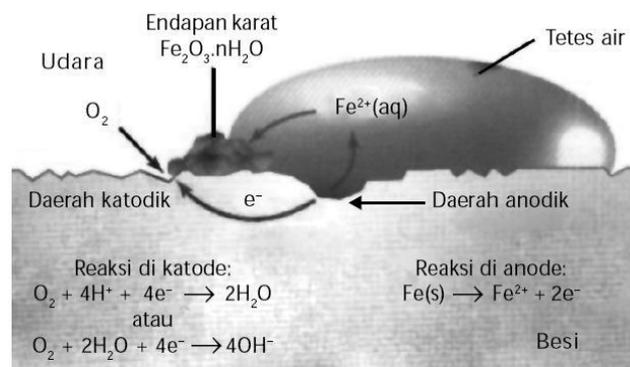
Reaksi katodik juga berlangsung di proses korosi. Reaksi katodik terjadi pada daerah katoda. Beberapa jenis reaksi katodik yang terjadi selama proses korosi antara lain:





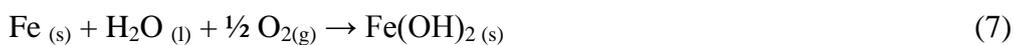
Reaksi katodik dimana oksigen dari udara akan larut dalam larutan terbuka (Vlack, 1994).

Secara umum korosi yang terjadi pada suatu larutan diawali dengan teroksidasinya logam di dalam larutan sehingga logam tersebut melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Pada kondisi ini, larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi umum yang terjadi adalah pelepasan H_2 (Reaksi 3) dan reduksi O_2 (Reaksi 4), akibat ion H^+ dan H_2O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi pada permukaan logam yang selanjutnya akan mengakibatkan pengikisan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Jones, 1992).



Gambar 1. Mekanisme korosi (Broomfield, 2007).

Gambar 1 menunjukkan bagaimana korosi pada logam besi (Fe). Mekanisme korosi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut:



Ferro hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) yang dihasilkan pada reaksi di atas merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi ferri hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), dari mekanisme reaksi berikut:



Ferri hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) yang terbentuk akan berubah menjadi Fe_2O_3 yang berwarna merah kecoklatan yang selanjutnya kita sebut sebagai karat, melalui reaksi berikut (Broomfield, 2007).



2.2.2 Jenis-Jenis Korosi

Berdasarkan bentuknya, korosi dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)

Korosi merata merupakan bentuk umum dari korosi. Korosi ini terjadi secara merata pada seluruh permukaan logam atau paduan yang bersentuhan dengan elektrolit pada intensitas sama. Kerusakan yang diakibatkan korosi merata cukup besar (ditinjau dari segi jumlah atau berat logam yang terkorosi), maka korosi jenis ini harus diwaspadai. Gambar 2 menunjukkan contoh korosi seragam pada pipa *ballast*.



Gambar 2. Korosi seragam pada pipa *ballast* (Utomo, 2009).

2. Korosi Galvanik (*Galavanic Corrosion*)

Korosi galvanik (*galavanic corrosion*) terjadi apabila dua logam yang berbeda berada dalam satu elektrolit sehingga salah satu dari logam tersebut akan terserang korosi sedang lainnya terlindungi dari korosi. Untuk memprediksi logam yang terkorosi pada korosi galvanik dapat dilihat pada deret galvanik. Logam yang memiliki nilai potensial elektroda yang lebih rendah dalam daftar deret elektrokimia akan memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan logam yang memiliki potensial elektroda yang tinggi. Dimana dalam keadaan ini, logam atau material dengan ketahanan korosi yang rendah akan menjadi anoda dan logam material dengan ketahanan korosi yang tinggi akan bertindak sebagai katoda. Contoh korosi galvanik ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Korosi galvanik (Utomo, 2009).

3. Korosi Celah (*Crevic Corrosion*)

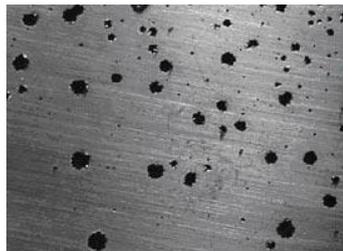
Korosi celah (*crevice corrosion*) merupakan jenis korosi lokal yang biasanya terjadi pada sela-sela sambungan logam yang sejenis atau pada retakan di permukaan logam seperti pada Gambar 4. Korosi celah disebabkan oleh perbedaan konsentrasi ion logam atau konsentrasi oksigen antara celah dan lingkungannya.



Gambar 4. Korosi celah (Utomo, 2009).

4. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)

Korosi sumuran (*pitting corrosion*) terjadi karena suatu serangan intensif secara setempat membentuk suatu sumuran. Umumnya diameter sumuran yang terbentuk relatif kecil dan tumbuh mengikuti arah gravitasi, dengan diameternya lebih kecil daripada kedalamannya. Proses korosi sumuran terjadi karena adanya perbedaan struktur logam sehingga terbentuk daerah anodik dan katodik. Ciri-ciri jenis korosi sumuran adalah korosi lokal berbentuk titik-titik atau lubang-lubang kecil dengan batas-batas yang nyata tersebar pada permukaan. Gambar 5 berikut menampilkan contoh korosi sumuran.

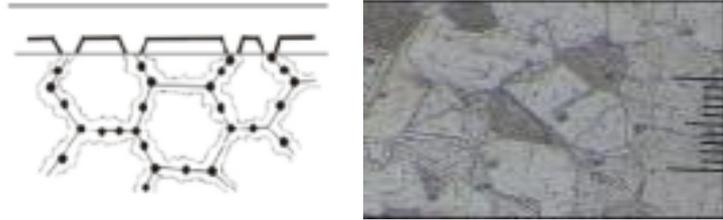


Gambar 5. Korosi sumuran (Utomo, 2009).

5. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

Jenis korosi ini terjadi pada batas butir, dimana batas butir sering kali menjadi tempat berkumpulnya impuritas dan lebih tegang. Pada beberapa kondisi, pertemuan butir sangat reaktif dan menyebabkan terjadinya korosi pada batas butir lebih cepat dibandingkan dengan korosi pada butir. Korosi

batas butir akan mengurangi atau bahkan menghilangkan kekuatan material. Berikut ini merupakan contoh korosi batas butir.



Gambar 6. Korosi batas butir (Budianto dkk, 2009).

6. Korosi erosi

Korosi erosi adalah gejala percepatan korosi atau peningkatan laju korosi akibat adanya aliran fluida yang bersifat korosif pada permukaan logam. Biasanya aliran ini sangat cepat seperti aliran fluida dalam pipa, sehingga dapat menimbulkan keausan dan abrasi. Korosi erosi disebabkan oleh kombinasi fluida korosif dan kecepatan aliran yang tinggi. Bagian fluida yang kecepatan alirannya rendah akan mengalami laju korosi rendah, sedangkan fluida kecepatan tinggi menyebabkan terjadinya erosi dan dapat menggerus lapisan pelindung sehingga mempercepat korosi.

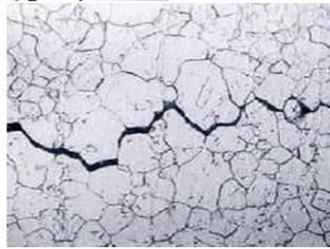


Gambar 7. Korosi erosi (Utomo, 2009).

7. Korosi regangan

Korosi regangan terjadi karena adanya gaya-gaya seperti tarikan (*tensile*) atau kompresi (*compressive*). Adanya kombinasi antara regangan tarik (*tensile stress*) dan lingkungan korosif akan mengakibatkan terjadinya kegagalan

material berupa retakan yang disebut retak korosi regangan (Fontana, 1986). Berikut ini contoh korosi regangan yang ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Korosi regangan (Priyotomo, 2008).

8. Korosi Mikrobiologi

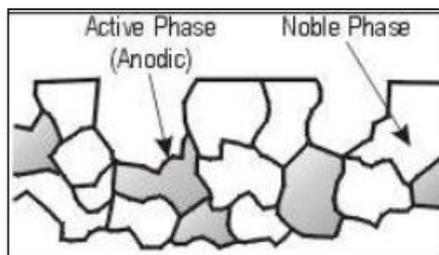
Korosi yang terjadi karena adanya mikroba. Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan protozoa. Mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Gambar 9 menampilkan contoh dari korosi mikrobiologi.



Gambar 9. Korosi mikrobiologi (Utomo, 2009).

9. Korosi Selektif

Korosi selektif yaitu terjadi akibat terlarutnya suatu unsur yang bersifat lebih anodik dari suatu paduan, misalnya *dezincification* yang melepaskan Zn dari paduan tembaga. Gambar 10 menunjukkan contoh dari korosi selektif.



Gambar 10. Korosi selektif (Priyotomo, 2008).

2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Korosi

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses korosi secara umum adalah sebagai berikut.

1. Komposisi dan Struktur Logam

Logam dengan tingkat kemurnian tinggi cenderung tidak mudah terkorosi dibandingkan dengan logam yang sama dengan kemurnian yang rendah. Struktur material juga akan mempengaruhi terjadinya korosi. Kurangnya homogenitas struktur dapat menimbulkan efek-efek galvanis mikro pada material yang mengakibatkan terjadinya pengamatan. Adanya titik-titik yang tidak sama dengan titik-titik sekitarnya dapat mengakibatkan salah satu bertindak sebagai anoda dan yang lain sebagai katoda. Dalam kondisi seperti ini, material akan lebih reaktif dalam lingkungan elektrolit (Widharto, 1999).

2. Lingkungan

Udara mengandung 20% oksigen, nitrogen hampir 80% dan beberapa gas lain, seperti argon, helium dan neon dengan persentase yang sangat kecil. Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi (Shreir *et al.*, 1994).

3. Suhu

Kenaikan suhu akan menyebabkan peningkatan laju korosi. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga besarnya melewati harga energi aktivasi dan mengakibatkan laju korosi semakin cepat, begitu pula sebaliknya (Fogler, 1992).

4. Kecepatan Aliran Fluida atau Kecepatan Pengadukan

Laju korosi cenderung semakin cepat dengan meningkatnya kecepatan aliran fluida. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar dan menyebabkan semakin banyaknya ion-ion logam yang terlepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan (korosi).

5. Konsentrasi Medium Korosif

Hal ini berhubungan dengan tingkat keasaman atau pH dari suatu larutan yang bersifat korosif. Larutan dengan pH rendah (bersifat asam) sangat korosif terhadap logam, sehingga logam yang berada di dalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi (Shreir *et al.*, 1994).

2.2.4 Pengendalian Korosi

Korosi pada logam secara elektrokimia disebabkan karena komposisi kimia logam yang tidak homogen. Proses terkorosinya logam adalah proses yang spontan dan tidak dapat dicegah. Serangan korosi hanya dapat dikendalikan sehingga struktur dan komponen logam mempunyai masa pakai yang lebih panjang (Widharto, 1999). Metode pengendalian korosi dapat dibedakan menjadi lima kategori, antara lain:

1. Pemilihan Desain

Usaha penanggulangan korosi sebaiknya sudah dilakukan sejak tahapan desain proses, mulai dari pemilihan proses, penentuan kondisi-kondisi prosesnya, penentuan bahan-bahan konstruksi, pemilihan *layout* saat konstruksi sampai pada tahap terakhir.

2. Pemilihan Material

Bahan konstruksi harus dipilih yang tahan korosi. Ketahanan korosi masing-masing bahan tidak sama pada berbagai macam lingkungan. Di antara bahan-bahan konstruksi yang paling sering digunakan adalah besi, aluminium, timah hitam, tembaga, nikel dan titanium.

3. Perlakuan Lingkungan

Upaya perlakuan lingkungan sangat penting dalam penanggulangan korosi di industri. Ada dua macam cara perlakuan lingkungan, yaitu

a. Pengubahan media/elektrolit

Misalnya penurunan suhu, penurunan kecepatan alir, penghilangan oksigen dan mengubah konsentrasi elektrolit.

b. Penggunaan inhibitor

Inhibitor adalah senyawa kimia jika ditambahkan dalam jumlah yang kecil saja kepada lingkungan yang korosif akan menurunkan laju korosinya. Inhibitor sendiri terbagi menjadi inhibitor organik dan inhibitor anorganik.

4. Pelapisan

Metode pelapisan atau *coating* adalah suatu upaya pengendalian korosi dengan menerapkan suatu lapisan pada permukaan logam. Misalnya, dengan

pengecatan atau penyepuhan logam. Penyepuhan besi biasanya menggunakan logam krom atau timah. Kedua logam ini dapat membentuk lapisan oksida yang tahan terhadap korosi lebih lanjut. Logam seng juga digunakan untuk melapisi besi (galvanisir), tetapi seng tidak membentuk lapisan oksida seperti pada krom dan timah, melainkan menjadi anoda tumbal dari besi. Ada dua macam cara pelapisan, yaitu :

a. Pelapisan dengan bahan logam.

Pada pelapisan dengan bahan logam, dapat digunakan bahan-bahan logam yang lebih inert maupun yang kurang inert sebagai bahan pelapis. Pemakaian kedua macam bahan tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

b. Pelapisan dengan bahan non logam yaitu dengan pelapis berbahan dasar organik seperti cat polimer dan pelapis berbahan dasar anorganik.

5. Proteksi Katodik dan Anodik

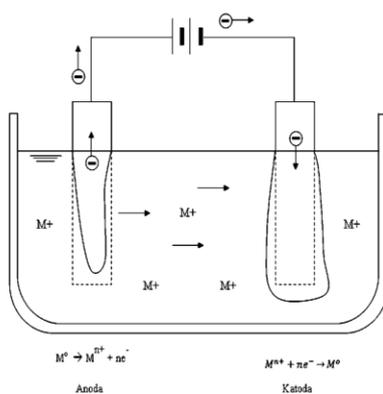
Proteksi katodik merupakan metode pencegahan korosi pada logam dengan cara logam yang ingin dilindungi dijadikan lebih bersifat katodik. Proteksi katodik dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu yang dilakukan dengan arus listrik dari *power supply* yang kemudian disebut sebagai arus tanding dan jika dihubungkan dengan logam lain atau lebih dikenal dengan anoda tumbal. Proteksi katodik sangat efektif untuk melindungi korosi eksternal pada pipa saluran yang berada di bawah tanah atau dibawah air laut. Proteksi anodik adalah metoda perlindungan logam terhadap korosi dengan cara merubah potensial logam menjadi lebih positif. Metoda ini juga digunakan untuk melindungi korosi internal pada tangki, namun hanya efektif jika

logam dan lingkungan dapat membentuk lapisan pasif. Biaya instalasi, *maintenance*, dan *power* yang cukup besar merupakan parameter yang harus dipertimbangkan ketika memilih metode ini (Bolton, 1998).

2.3 Elektroplating

2.3.1 Prinsip Dasar Elektroplating

Proses elektroplating merupakan proses perpindahan ion logam dengan bantuan arus listrik melalui larutan elektrolit sehingga ion logam anoda mengendap pada logam yang akan dilapisi (katoda). Ion logam diperoleh langsung dari elektrolit atau dengan pelarutan anoda logam ke dalam elektrolit. Lapisan logam yang mengendap disebut juga sebagai deposit. Elektroplating merupakan salah satu cara pelapisan yang banyak digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan penampilan, perlindungan terhadap korosi, sifat khas permukaan serta sifat mekanik suatu material (Hartomo, 1992). Skema sederhana proses elektroplating ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Skema sederhana proses elektroplating (Supriadi dkk, 2013).

Proses elektroplating dapat dikatakan kebalikan dari proses korosi, karena pada proses elektroplating yang mengalami penyusutan adalah anoda (bahan pelapis)

yang akan mengendap pada permukaan katoda (material yang akan dilapisi).

Reaksi elektroplating dapat ditulis sebagai berikut:



Sedangkan pada reaksi korosi (1) yang mengalami penyusutan adalah pada katodanya (Tauvana, 2016).

Proses elektroplating biasanya dilakukan dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisa yang berisi cairan elektrolit. Dalam proses elektroplating juga diperlukan dua buah elektroda dan sumber arus listrik. Sumber arus listrik dapat dihasilkan dari suatu sumber arus listrik searah (DC), dapat berupa batu baterai, *accumulator* atau pengubah arus (*rectifier*) yang dihubungkan dengan kedua elektroda (anoda dan katoda). Anoda terhubung dengan kutub positif sumber arus (+), sedangkan katoda terhubung dengan kutub yang berlawanan (-). Anoda yang digunakan ada yang larut dalam elektrolit, ada pula yang tidak. Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja, sedangkan anoda yang larut selain berfungsi sebagai penghantar arus listrik juga berfungsi sebagai bahan pelapis. Ketika arus listrik searah dari sumber arus dialirkan di antara kedua elektroda dalam larutan elektrolit, maka pada anoda akan terjadi pelepasan ion logam dan reduksi oksigen, selanjutnya ion logam tersebut dan gas hidrogen diendapkan pada katoda (Supriadi dkk, 2013).

Berikut ini beberapa komponen yang utama yang dibutuhkan pada proses elektroplating.

1. Larutan elektrolit

Larutan elektrolit merupakan tempat atau media berlangsungnya proses elektroplating. Larutan elektrolit dapat dibuat dari larutan asam dan garam logam yang dapat membentuk ion-ion positif. Larutan elektrolit selalu mengandung garam dari logam yang akan dilapis. Garam-garam tersebut sebaiknya dipilih yang mudah larut tetapi anionnya tidak mudah tereduksi. Aktivitas dari ion-ion logam ditentukan oleh konsentrasi dari garam logamnya. Jika konsentrasi logamnya tidak mencukupi untuk diendapkan, maka akan terjadi endapan atau lapisan yang terbakar pada rapat arus yang relatif rendah. Larutan elektrolit yang digunakan pada setiap jenis lapisan berbeda-beda tergantung pada sifat-sifat elektrolit yang diinginkan.

2. Anoda

Kemurnian atau kebersihan serta bentuk dari anoda perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi optimalisasi proses elektroplating. Anoda yang digunakan pada pelapisan tembaga dan nikel adalah anoda terlarut (*soluble anode*) yaitu tembaga dan nikel murni, sedangkan untuk pelapisan krom digunakan anoda tidak terlarut (*insoluble anode*) yaitu dengan anoda timbal (Pb). Salah satu tujuan digunakannya anoda tidak larut adalah untuk mencegah terbentuknya logam yang berlebihan dalam larutan. Penggunaan anoda tidak larut ini memiliki kelemahan yaitu unsur-unsur tertentu dari anoda tersebut cenderung teroksidasi ke dalam larutan.

3. Katoda

Pada proses elektroplating, yang berperan sebagai katoda adalah spesimen logam yang akan dilapisi (Mustopo, 2011).

2.3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Elektroplating

Beberapa parameter yang mempengaruhi kualitas pelapisan adalah sebagai berikut.

1. Konsentrasi Larutan Elektrolit

Seperti yang disebutkan sebelumnya, larutan elektrolit terdiri dari senyawa logam yang akan melapisi katoda dalam bentuk garam terlarut serta asam atau basa yang berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas daya listrik. Pada umumnya, konsentrasi logam yang terlalu tinggi akan menghasilkan permukaan lapisan yang tidak rata serta menurunkan kekilapan lapisan permukaan tersebut. Sementara jika kadar logam terlalu rendah maka akan menyebabkan proses berjalan lambat.

2. Rapat Arus

Rapat arus merupakan nilai yang menyatakan jumlah arus listrik yang mengalir persatuan luas permukaan elektroda. Rapat arus merupakan faktor penting pada proses elektroplating karena akan mempengaruhi efisiensi arus. Efisiensi arus adalah persentase perbandingan berat endapan yang terjadi dengan berat endapan secara teoritis. Untuk memvariasikan arus, yang diatur cukup tahanan saja sedangkan tegangan tetap.

3. Temperatur

Temperatur akan berpengaruh terhadap konduktivitas. Semakin tinggi temperatur, maka konduktivitas semakin tinggi dan mengakibatkan hantaran arus juga semakin meningkat. Akan tetapi setiap jenis proses elektroplating memiliki rentang temperatur optimum, dimana jika temperatur yang

digunakan pada proses melebihi temperatur maksimum akan menyebabkan endapan terbakar dan kerusakan aditif.

4. Waktu Pelapisan

Waktu pelapisan akan berpengaruh terhadap kuantitas dari hasil pelapisan. Semakin lama waktu pelapisan maka akan meningkatkan konduktivitas dan difusivitas larutan elektrolit. Hal ini berarti tahanan elektrolit akan menurun sehingga potensial yang dibutuhkan untuk mereduksi ion-ion logam berkurang.

5. Daya Tembus (*Throwing Power*)

Daya tembus merupakan kemampuan proses elektrolitik untuk menghasilkan lapisan dengan ketebalan yang seragam pada katoda, yang ditentukan oleh geometri tangki dan berbagai parameter proses lainnya termasuk juga jenis elektrolit (Ndariyono, 2011).

2.4 Elektroplating dengan Anoda Tumbal

Elektroplating dengan anoda tumbal merupakan salah satu metode pengendalian korosi dengan menggunakan logam yang lebih elektronegatif sebagai pelapis (Shreir *et al.*, 1994). 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 (Triatusti dan Subekti, 2013). Karena bahan yang paling sering membutuhkan perlindungan adalah baja, maka dapat dilihat dari deret galvanik bahwa semua logam yang potensialnya lebih aktif dibandingkan baja dapat digunakan sebagai anoda tumbal (Shreir *et al.*, 1994; Afriani dkk, 2014). Deret galvanik atau biasa

juga disebut sebagai potensial reduksi dari berbagai logam dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Potensial reduksi standar (Caroli *et al.*, 1978).

Reaksi elektroda	E^0 (volt)
$\text{Li}^+ + e \rightarrow \text{Li}$	-3,04
$\text{K}^+ + e \rightarrow \text{K}$	-2,92
$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ca}$	-2,87
$\text{Na}^+ + e \rightarrow \text{Na}$	-2,71
$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mg}$	-2,37
$\text{Be}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Be}$	-1,85
$\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$	-1,66
$\text{Mn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mn}$	-1,18
$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	-0,76
$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Cr}$	-0,74
$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Fe}$	-0,44
$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cd}$	-0,40
$\text{Co}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Co}$	-0,28
$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ni}$	-0,25
$\text{Sn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Sn}$	-0,14
$\text{Pb}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pb}$	-0,13
$2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$	0,00
$\text{Sb}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Sb}$	+0,10
$\text{Sn}^{4+} + 4e \rightarrow \text{Sn}$	+0,13
$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$	+0,34
$\text{Hg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Hg}$	+0,62
$\text{Fe}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Fe}$	+0,77
$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	+0,80
$\text{Pt}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Pt}$	+1,50
$\text{Au}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Au}$	+1,52
$\text{Co}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Co}$	+1,82

Logam mangan merupakan logam yang sangat elektronegatif karena mempunyai potensial reduksi standar yang sangat kecil, sehingga dapat digunakan sebagai anoda tumbal dari baja. Logam mangan juga memiliki beberapa kelebihan, diantaranya memiliki sifat yang ramah lingkungan, memiliki koefisien gesek yang rendah, sifat mekanik yang baik dan harganya relatif murah (Gong and Zangari, 2002). Akan tetapi, secara kimia mangan murni memiliki kereaktifan tinggi sehingga perlu dipadukan dengan logam lain seperti Cu untuk mengurangi tegangan internal dan memperbaiki ketahanan korosi (Gong and Zangari, 2005).

Tembaga (*copper*) adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dengan nomor atom 29 dan nomor massa 63,54. Tembaga merupakan salah satu logam yang termasuk dalam kelompok logam bukan besi yang banyak digunakan di industri karena sifat daya hantar listrik dan panasnya yang sangat baik sehingga dengan mudah dapat dibentuk. Selain itu, tembaga juga memiliki keuletan yang tinggi dan sifat ketahanan korosi yang baik (Supriadi dkk, 2013).

Senyawa tembaga (II) sulfat atau CuSO_4 dapat digunakan sebagai zat additif dalam proses elektroplating. Hal ini karena ion Cu^{2+} pada CuSO_4 bertindak sebagai *brighteners* yang fungsi utamanya adalah memperbaiki sifat fisik dan mekanik lapisan plating. Selain itu, ion Cu^{2+} juga mampu mereduksi tegangan internal pada logam serta meningkatkan ketahanan korosi pada lapisan plating (Triastuti dan Subekti, 2013).

2.5 Penentuan Laju Korosi

Pengukuran laju korosi merupakan hal yang sangat penting dalam rekayasa korosi. Dengan mengetahui laju korosi kita dapat memprediksi kapan dan berapa lama struktur itu dapat bertahan terhadap serangan korosi. Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy). Satu *mils* adalah setara dengan 0,001 inchi. Teknik monitoring korosi dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu kehilangan berat (*weight loss*) dan elektrokimia (Fontana, 1986).

Metode *weight loss* atau kehilangan berat merupakan metode yang banyak dilakukan untuk mengetahui laju korosi suatu logam. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya material yang hilang atau kehilangan berat setelah dilakukan pengujian perendaman sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Dengan menimbang massa awal logam yaitu logam yang telah dibersihkan dari oksida, kemudian logam tersebut dilakukan pengujian dengan perendaman di dalam medium korosif selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penimbangan kembali dari logam tersebut setelah dibersihkan dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan logam yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis logam yang diuji, kita dapat mengetahui laju korosinya. Berikut ini persamaan untuk menghitung laju korosi:

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \quad (15)$$

dimana: CR : Laju korosi (mmpy)
 K : Konstanta laju korosi
 W : Selisih massa (gr)
 T : Waktu perendaman (jam)
 A : Luas permukaan (cm²)
 ρ : Massa jenis baja (gr/cm³)

Nilai konstanta laju korosi berdasarkan satuannya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 . Konstanta laju korosi berdasarkan satuannya (ASTM G31-72, 2004).

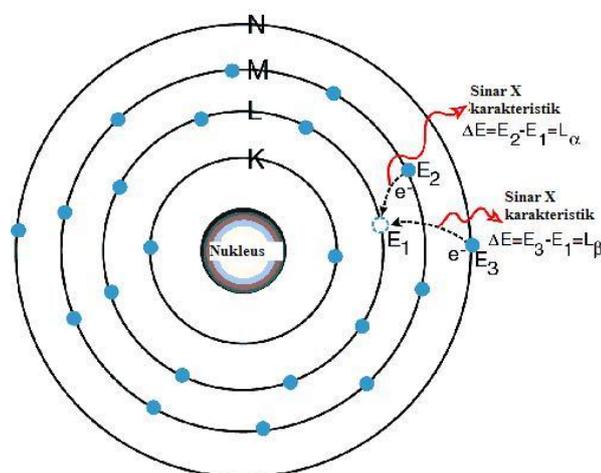
Satuan Laju Korosi	Konstanta
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^5$
Milimeters per year (mmpy)	$8,76 \times 10^4$
Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)	$8,76 \times 10^7$

2.6 Karakterisasi Material

2.6.1 X-ray Fluorescence (XRF)

X-ray Fluorescence (XRF) merupakan salah satu metode analisis *non-destructive* (tidak merusak) yang digunakan untuk analisis unsur dalam suatu bahan. Analisis XRF *portable* berdasarkan pada prinsip dasar interaksi sinar elektron dan sinar-X dengan bahan padat. Analisis dilakukan dengan menempatkan kontak *analyzer* pada sampel dan menekan *trigger* untuk mengaktifkan sinar-X. Proses ini hanya memerlukan waktu beberapa detik dan data dapat ditampilkan pada layar *built-in* (Jenkins, 1999).

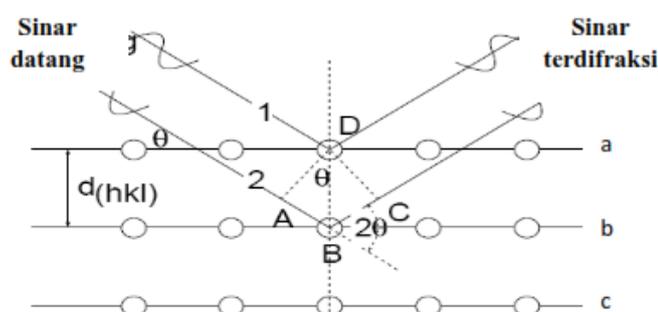
Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan sinar-X karakteristik yang terjadi dari peristiwa fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom target (sampel) terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Apabila energi sinar tersebut lebih tinggi daripada energi ikat elektron dalam orbit K, L atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti dengan pelepasan energi yang berupa sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan merupakan suatu gabungan spektrum sinambung dan spektrum berenergi tertentu (*discrete*) yang terjadi tergantung pada perpindahan elektron yang terjadi dalam atom bahan (Kalnicky and Singhvi, 2001). Spektrum ini disebut sebagai spektrum sinar-X karakteristik. Proses ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 12. Proses terjadinya sinar-x (Kalnicky dan Singhvi, 2001).

2.6.2 X-ray Diffraction (XRD)

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari tumbukan elektron berkecepatan tinggi dengan logam sebagai sarannya. Oleh karena itu, suatu tabung sinar-X harus mempunyai sumber elektron, voltase tinggi dan logam sasaran. XRD dilengkapi dengan beberapa komponen seperti tabung sinar-X, monokromator, detektor dan lain-lain (Warren, 1969). Peristiwa difraksi sinar-X dapat dilukiskan seperti Gambar 13.



Gambar 13. Skema difraksi sinar-X.

Tahapan *X-ray diffraction* (XRD) terdiri dari empat tahap, yaitu produksi, difraksi, deteksi dan interpretasi. Pada tahap produksi, elektron yang dihasilkan ketika filamen (katoda) dipanaskan akan dipercepat akibat perbedaan tegangan antara filamen (katoda) dan logam target (anoda) sehingga terjadi tumbukan dengan logam target. Tumbukan tersebut akan menghasilkan radiasi sinar-X yang akan keluar dari tabung sinar-X dan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji, ini merupakan tahap difraksi. Material yang akan dianalisis struktur kristalnya harus berada dalam fasa padat karena dalam kondisi tersebut kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang-bidang kristal. Ketika suatu berkas sinar-X diarahkan pada

bidang-bidang kristal tersebut sehingga muncul pola-pola difraksi ketika sinar-X melewati celah-celah di antara bidang-bidang kristal tersebut. Pola-pola difraksi tersebut sebenarnya menyerupai pola gelap dan terang. Pola gelap terbentuk saat terjadi interferensi destruktif, sedangkan pola terang terbentuk saat terjadi interferensi konstruktif dari pantulan gelombang-elombang sinar-X yang saling bertemu (Suryanarayana and Norton, 1998).

Interferensi konstruktif radiasi sinar-X selanjutnya akan dideteksi oleh detektor dan kemudian akan diperkuat gelombangnya dengan *amplifier*. Hasilnya akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan pada layar komputer. Dengan menganalisis puncak-puncak grafik tersebut, struktur kristal suatu material dapat diketahui.

Secara umum teknik difraksi sinar-x digunakan untuk mengetahui kristalinitas dari suatu material seperti logam, keramik, polimer dan komposit. Untuk bahan kristal, teknik ini juga menghasilkan informasi tentang struktur kristal berupa parameter kisi dan jenis struktur (Smallman and Bishop, 1999). Penentuan struktur kristal dengan teknik sinar-X didasarkan pada hukum Bragg, yang secara matematis dapat dituliskan dengan:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (16)$$

dengan: $n = 1, 2, 3, \dots$

$\lambda =$ panjang gelombang sinar-X

$d =$ jarak antar bidang

$\theta =$ sudut difraksi

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X diarahkan pada suatu sampel kristal, maka bidang kristal tersebut akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang mewakili orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang diperoleh dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X yaitu JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standard*) (Warren, 1969).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2017 sampai Juli 2017 di Laboratorium Analisis Kimia dan Metalurgi - Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) - LIPI yang bertempat di Jl. Ir. Sutami, Km. 15, Tanjung Bintang-Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: neraca digital Sartorius, alat pemotong baja, kertas amplas, gelas ukur, plastik kecil, *beaker glass*, spatula, *rectifier*, bak *plating*, *stopwatch*, multimeter, *X-Ray Fluorescence (XRF) portable*, Nikon *Inverted Metallurgical Microscope (IMM) Eclipse MA100* dan *X-Ray Diffraction (XRD)*.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: baja AISI 1020, *stainless steel*, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, alkohol, natrium klorida (NaCl) 3%, dan aquades.

3.3 Metode Penelitian

Prosedur kerja penelitian dibagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap preparasi sampel baja, pembuatan larutan elektrolit dan proses elektroplating Cu-Mn serta melakukan prosedur percobaan untuk melihat laju korosi pada baja yang telah dielektroplating.

3.3.1 Preparasi Sampel Baja

Sampel baja yang akan digunakan dipreparasi dengan tahapan sebagai berikut:

1. Memotong spesimen uji menggunakan alat pemotong baja.
2. Membersihkan baja dan memperhalus permukaannya menggunakan amplas.
3. Mencelupkan baja kedalam larutan alkohol untuk membersihkan baja.
4. Membilas baja dengan menggunakan aquades yang berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa larutan yang masih ada pada permukaan baja.
5. Menganalisis unsur yang terkandung dalam baja menggunakan *X-ray fluorescence* (XRF) *portable* dan melihat struktur permukaan baja menggunakan mikroskop metalurgi.

3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit dan Proses Elektroplating

Pembuatan elektrolit dan proses elektroplating dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat larutan MnSO_4 0,59 M dengan melarutkan 12,46 gram $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ke dalam 125 mL aquades.
2. Membuat larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,01 M dengan melarutkan 0,31 gram $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam 125 mL aquades.

3. Membuat larutan elektrolit dengan mencampurkan 0,59 M $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan 0,01 M $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam bak *plating*.
4. Menimbang massa baja dengan neraca digital sebelum proses elektroplating.
5. Proses elektroplating antara lain:
 - a. Menghubungkan *stainless steel* (anoda) ke kutub positif dan baja AISI 1020 (katoda) ke kutub negatif.
 - b. Melakukan proses elektroplating dengan variasi rapat (35, 45, 55, 65 dan 75 mA/cm^2) dan waktu elektroplating (10, 20, 30, 40 dan 50) detik.
 - c. Memutuskan arus setelah selesai elektroplating dan mengangkat benda uji.
6. Mengeringkan baja hasil elektroplating.
7. Menimbang sampel hasil elektroplating..
8. Menguji sampel dengan *X-ray fluorescence* (XRF) untuk melihat unsur yang terkandung dalam baja setelah elektroplating.
9. Menguji sampel dengan *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk setelah elektroplating.
10. Menguji sampel dengan mikroskop metalurgi untuk melihat struktur permukaan sampel setelah elektroplating.

3.3.2 Penentuan Laju Korosi

Tahap-tahap yang dilakukan untuk menentukan laju korosi spesimen uji adalah sebagai berikut:

1. Membuat medium korosif NaCl 3% dengan cara melarutkan 16,8 gram NaCl di dalam 560 mL aquades.

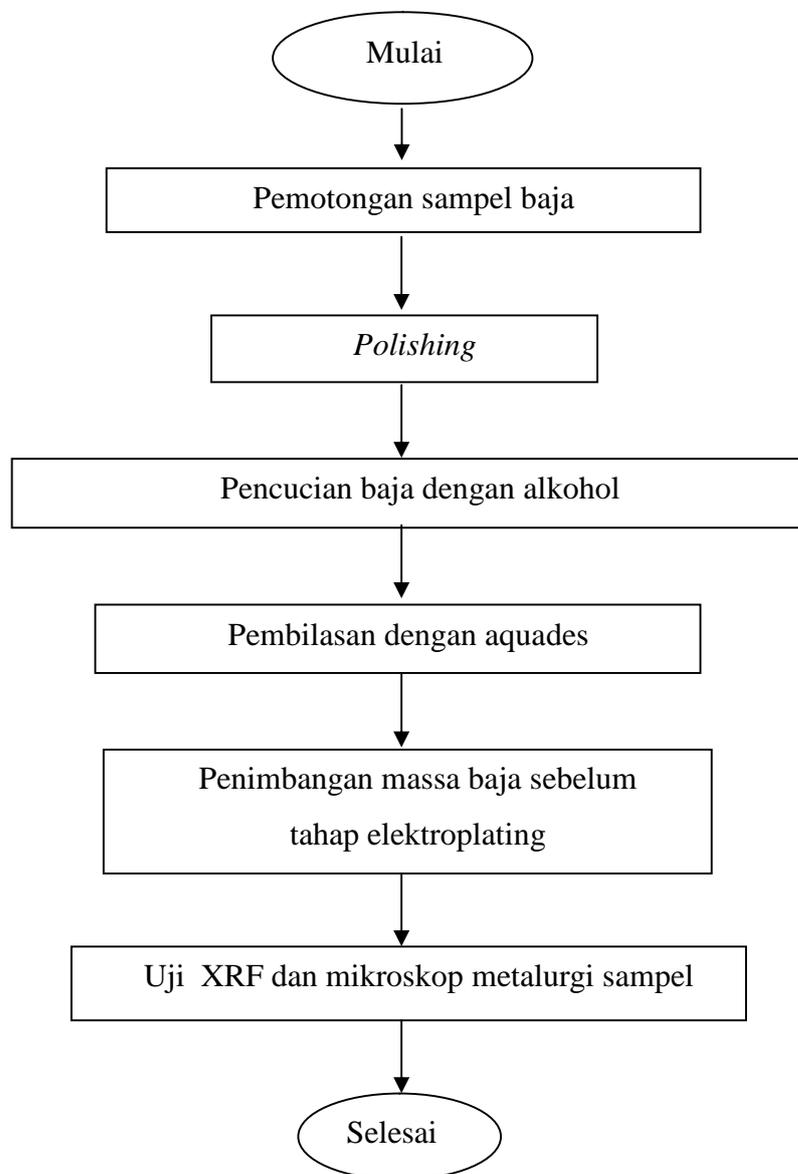
2. Merendam baja yang telah dielektroplating dalam medium korosif selama 168 jam.
3. Membersihkan sampel yang telah direndam dan menimbanginya setelah kering.
4. Menentukan laju korosi dengan menggunakan persamaan (15).
5. Menguji sampel dengan *X-ray fluorescence* (XRF) untuk melihat unsur yang terkandung dalam baja setelah uji korosi.
6. Menguji sampel dengan *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk setelah uji korosi.
7. Menguji sampel dengan mikroskop metalurgi untuk melihat struktur permukaan sampel setelah uji korosi.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar, diagram alir pada penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap, yaitu tahap preparasi sampel baja, pembuatan larutan elektrolit dan proses elektroplating Cu-Mn serta melakukan prosedur percobaan untuk melihat laju korosi pada baja yang telah di preparasi.

3.4.1 Preparasi Sampel Baja

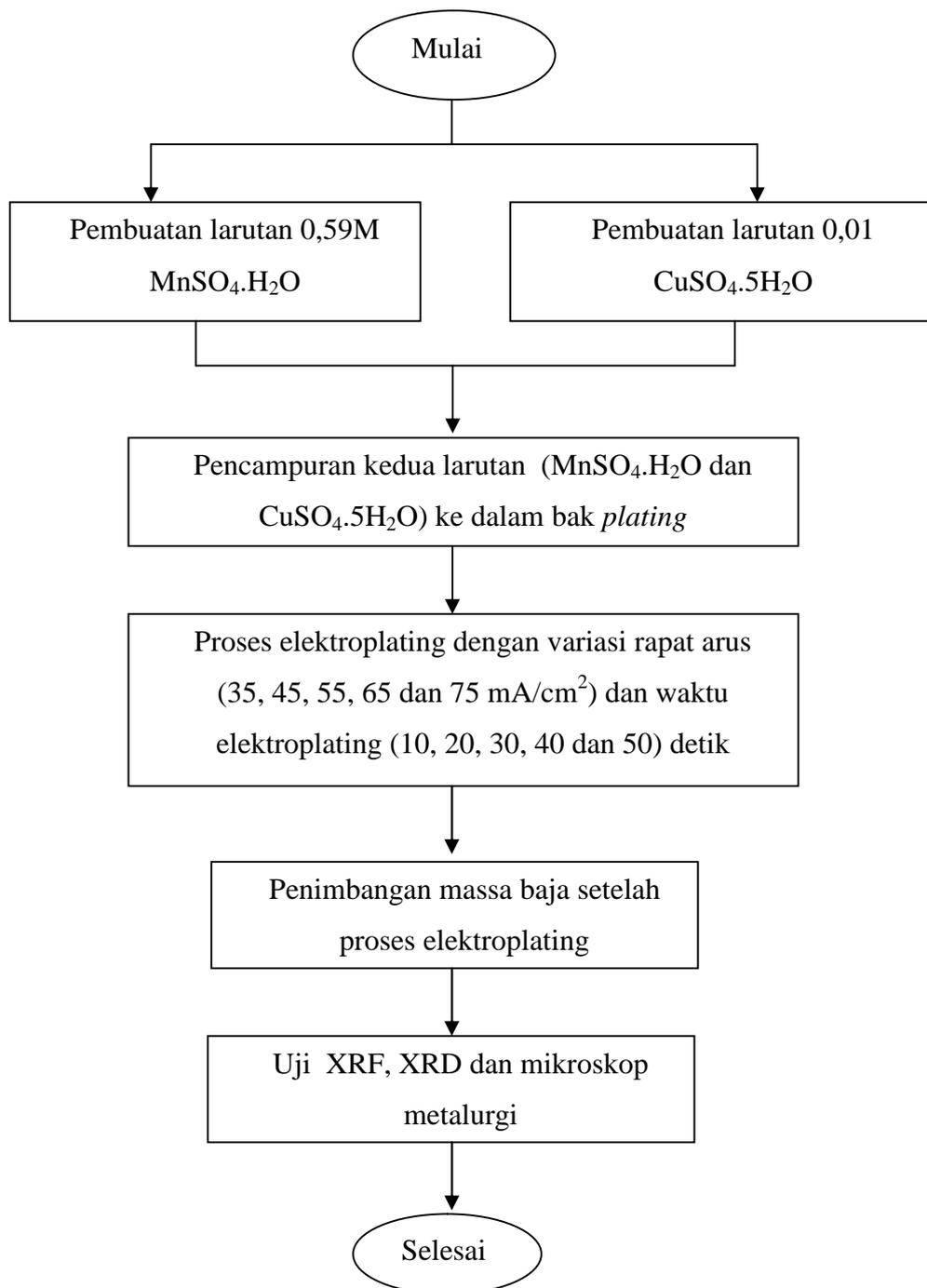
Diagram alir untuk proses preparasi sampel baja dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram alir preparasi baja.

3.4.2 Pembuatan Larutan Elektrolit dan Tahap Elektroplating

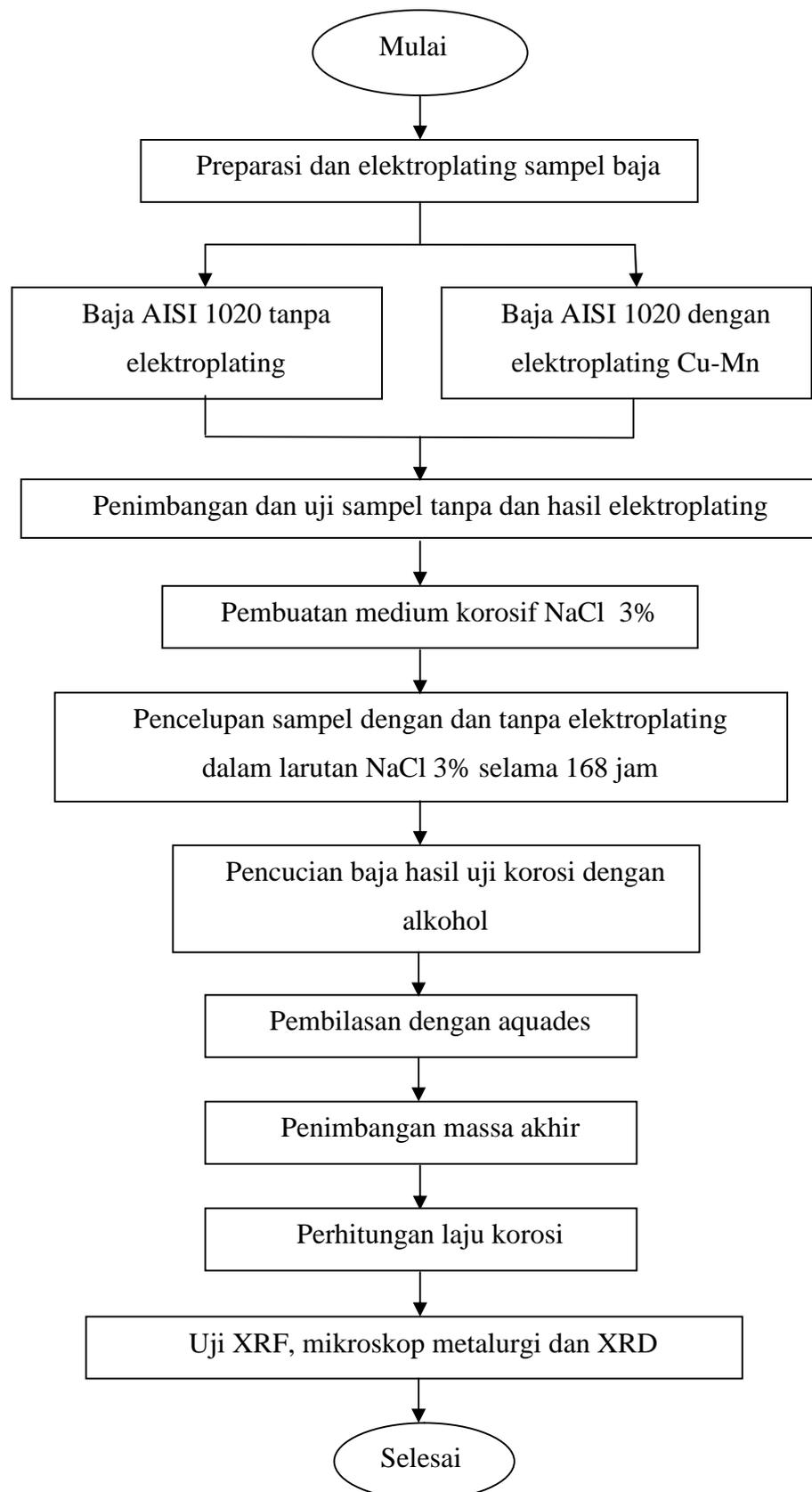
Prosedur pembuatan larutan elektrolit serta tahap elektroplating dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Diagram alir pembuatan larutan elektrolit dan proses elektroplating.

3.4.2 Penentuan Laju korosi.

Prosedur penelitian untuk menentukan laju korosi baja setelah direndam dalam medium korosif NaCl 3% dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram alir penentuan laju korosi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Semakin besar rapat arus dan waktu elektroplating yang diterapkan pada baja maka akan menurunkan laju korosi baja tersebut.
2. Ion Cu dan Mn yang mengendap pada katoda semakin meningkat dengan seiring meningkatnya waktu dan rapat arus elektroplating.
3. Laju korosi terendah diperoleh pada waktu elektroplating 50 detik dan rapat arus 75 mA/cm^2 yaitu $0,053 \text{ mm/y}$.
4. Hasil analisis mikroskop metalurgi menunjukkan lapisan yang terbentuk semakin tebal dengan bertambahnya waktu dan rapat arus elektroplating.
5. Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan puncak-puncak yang terbentuk setelah elektroplating pada waktu 10 detik dan rapat arus 35 mA/cm^2 hampir sama dengan hasil karakterisasi baja setelah elektroplating pada waktu 50 detik dan rapat arus 75 mA/cm^2 , namun dengan intensitas yang lebih rendah.
6. Hasil karakterisasi XRD baja setelah uji korosi memperlihatkan bahwa pada baja tanpa proses elektroplating fasa besi berubah menjadi bentuk oksidanya sedangkan pada sampel yang dielektroplating keduanya membentuk fasa Fe murni, namun pada sampel dengan waktu elektroplating 50 detik dan rapat arus 75 mA/cm^2 masih terdapat fasa *copper sulfide* pada 2θ $11,6574^\circ$.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian dengan *Scanning Electron Microscopy (SEM)* dan EDS untuk melihat mikrostruktur baja dan mengetahui unsur-unsur yang terbentuk pada lapisan secara lebih teliti. Selain itu, disarankan lebih memperhatikan dimensi wadah atau tempat untuk proses elektroplating.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, F., Komalasari dan Zultiniar. 2014. Proteksi Katodik Metode Anoda Tumbal untuk Mengendalikan Laju Korosi. *Jurnal FTEKNIK*. Vol. 1. No. 2. Pp. 1-12.
- Ahmad, M. A. 2011. Analisa Besar Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Chrom Pada Pelat Baja dengan Proses Elektroplating. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin. Makassar. Pp. 22-24
- Arista, P. D., Ortiz, Z. I., Huiz, H. Ortega, R., Meas, Y. and G. Trejo. 2009. Electrodeposition and Characterization of Zn-Mn Alloy Coatings obtained from a Chloride-Based Acidic Bath Containing Ammonium Thiocyanate as an Additive. *Surface and Coating Technology*. Vol. 203. Pp. 1167-1175.
- ASM handbook. 1993. *Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys. Tenth Edition*. Metals handbook. Vol. 6.
- ASTM International. 2004. *ASTM G31-72: Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. United States.
- Astuti, J. 2016. Analisis Perambatan Retak Fatik Baja AISI 1020. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. Pp. 9-10.
- Bayliss, D. A. and Deacon, D. H. 2002. *Steelwork Corrosion Control. Second Edition*. Spon Press. London. Pp. 18-24.
- Bolton, W. 1998. *Engineering Materials Technology. Third Edition*. Butterworth-Heinemann. England. Pp. 457-458.
- Broomfield, J. P. 2007. *Corrosion of Steel in Concrete. Second Edition*. Taylor and Francis. New York. Pp. 7-8.
- Budianto, A., Purwantini, K. dan Tjipto, S. 2009. Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi Antar Butir dari Material Baja Tahan Karat Austenitik setelah Mengalami Proses Pemanasan. *Jurnal Forum Nuklir*. Vol. 3. No. 2. Pp. 107 – 130.

- Budiyanto, E., Setiawan, D. A., Supriadi, H. dan Ridhuan. 2016. Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda Baja AISI 1020. *Jurnal TURBO*. Vol. 5. No. 1. Pp. 21-29
- Caroli, S., Milazzo, G and V. K. Sharma. 1978. *Tables of Standard Electrode Potentials*. Wiley. Chichester. Pp. 24-26.
- Chockalingam, A. M., Lagudu, U. R. K. and S. V. Babu. 2013. Potassium Periodate-Based Solutions for Minimizing Galvanic Corrosion at the Cu-Mn Interface and for Polishing the Associated Cu Interconnect Structures. *Journal of Solid State Science and Technology*. Vol. 2. No. 4. Pp. 160-165.
- Fogler. 1992. *Elements of Chemical Reaction Engineering. 4th edition*. Prentice-Hall International, Inc. New York. Pp. 125-126
- Fontana, M. G. 1986. *Corrosion Engineering*. McGraw Hill. New York. Pp. 499-502.
- Fox, J. H. E. 1979. *An Introduction to Steel Selection: Part 1, Carbon and Low-Alloy Steels*. Oxford University Press. Great Britain. Pp. 7-8.
- Gong, J. and Giovanni, Z. 2002. Electrodeposition and Characterization of Manganese Coatings. *Journal of Electrochemical Society*. Vol 149. No 4. Pp. 209-217.
- Gong, J. and Giovanni, Z. 2004. Increased Metallic Character of Electrodeposited Mn Coatings using Metal Ion Additives. *Electrochemical and Solid-State Letters*. Vol. 7. No. 9. Pp. 91-94.
- Gong, J and Giovanni, Z. 2004. Electrodeposition and Characterization of Sacrificial Copper-Manganese Alloy Coatings. *Electrochemical and Morphological Characterization*. Vol. 151. No. 5. Pp. 297-305.
- Gong, J., Wei, G., Barnard, J. A. and Zangari, G. 2005. Electrodeposition and Characterization of Sacrificial Copper-Manganese Alloy Coatings: Part II. Structural, Mechanical and Corrosion-Resistance Properties. *Metalurgical and Materials Transaction*. Vol. 36. No. 1. Pp. 2705-2715.
- Gong, J. dan Giovanni, Z. 2006. Electrodeposition of Manganese Alloys For Sacrificial Protection of Steel. *Journal of Electrochemical Society*. Vol. 1. No. 13. Pp. 97-107.
- Hartomo, A. 1992. *Mengenal Pelapisan Logam (Elektroplating)*. Andi Offset. Yogyakarta. Pp. 70.
- Jenkins, R. 1999. *X-ray Fluorescence Spectrometry. Second Edition*. Vol. 152. John wiley and Sons, Inc. New York. Pp. 75-85.

- Jones, D. A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*. Maxwell Macmillan. Singapura. Pp. 12-15.
- Kalnicky, D. J. and Singhvi, R. 2001. Field Portable XRF Analysis of Enviromental Samples. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 83. Pp. 93-122.
- Landolt, D. 2002. Electrodeposition Science and Technology in Last Quarter of Twentieth Century. *Journal of Electrochemical society*. Vol. 149. No. 3. Pp. 9-20
- Mustopo, Y. D. 2011. Pengaruh Waktu Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan Pada Proses Elektroplating Khrom Dekoratif Tanpa Lapisan Dasar, Dengan Lapisan Dasar Tembaga dan Tembaga-Nikel. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Pp. 21-24.
- Ndariyono. 2011. Pengaruh Temperatur Larutan Elektrolit dan Rapat Arus Katoda Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan Pada Proses Elektroplating Tembaga-Nikel-Khrom. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta. Pp. 21-22.
- Ortiz, Z. I., Arista, P. D., Meas, Y. Borges, R. O. and G. Trejo. 2009. Characterization of the Corrosion Products of Electrodeposited Zn, Zn-Co and Zn-Mn Alloys Coatings. *Corrosion Science*. Vol. 51. Pp. 2703-2715.
- Perez, N. 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*. Kluwer Academic Publisher. United States of America. Pp. 1-5.
- Priyotomo, G. 2008. *Kamus Saku Korosi Material*. Metalurgi LIPI. Tangerang. Pp. 4-14.
- Saleim, M. S., Ahmed. A. M., and El Adl, A. F. 2014. Electroplating in Steel in Presence of Isopropanol-Water Mixture. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol. 9. No. 2. Pp. 2016-2028.
- Setiawan, P. 2011. Pengaruh Kekerasan Permukaan Baja AISI 1045 Hasil Proses Bubut Terhadap Laju Korosi di Lingkungan Pantai, Gunung dan Industri di Provinsi Lampung. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung. Pp. 1-2.
- Shreir, L. L., Jarman, R. A. and Bursten, G. T. 1994. *Corrosion Control. Third Edition*. British Library Cataloguing. Great Britain. Pp. 167-168.
- Smallman, R. E dan Bishop, R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering: Science, Process, Applications. Sixth Edition*. Butterworth – Heinemann. Oxford. Pp. 133-142.

- Supriadi, H., Zulhanif dan Khoirul, F. 2013. Pengaruh Rapat Arus dan Temperatur Elektrolit Terhadap Ketebalan dan Efisiensi Katoda Pada Elektroplating Tembaga Untuk Baja Karbon Sedang. *Jurnal Mechanical*. Vol. 4. No. 1. Pp. 30-37
- Surdia, T. dan Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita. Jakarta. Pp. 69-72
- Suryanarayana, C. and Norton, M. G. 1998. *X-Ray Diffraction: A Practical Approach*. Plenum Press. New York. Pp. 5-14.
- Tauvana, A. I. 2016. Pengaruh Variasi Tegangan dan Waktu Pelapisan Terhadap Kekilapan, Kekerasan dan Kekasaran Permukaan Alumunium. *Jurnal KURVATEK*. Vol. 1. No. 1. Pp. 1-6.
- Timings, R. L. 1991. *Engineering Materials*. Longmand. England. Pp. 156-158
- Triastuti, W. E. dan Dedi, B. P. 2012. Efek Penambahan Ion Tartrate Terhadap Elektrodposisi Mn-Cu Pada Pipa Baja Karbon. *Jurnal KAPAL*. Vol. 9. No. 3. Pp. 167-170
- Triastuti, W. E. dan Arief, S. 2013. Karakter Fisik dan Korosi Mangan Hasil Pelapisan pada Baja AISI 1020. *Jurnal KAPAL*. Vol. 9.No. 1. Pp. 1-7.
- Utomo, B. 2009. Jenis Korosi dan Penanggulangannya. *Jurnal KAPAL*. Vol. 6. No. 2. Pp. 138-141
- Vlack, V. L. H. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam), Edisi kelima*. Erlangga. Jakarta. Pp. 485-487.
- Warren, B. E. 1969. *X-Ray Diffraction*. Dover Publication, Inc. New York. Pp. 27-30
- Widharto, S. 1999. *Karat dan Pencegahannya*. Pradnya Paramitha. Jakarta. Pp. 95-97
- Zaki, A. 2006. *Principle of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier Science and Technology Books. ISBN. 0750659426. Pp. 3-4