

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

(Skripsi)

Oleh

AISIYAH PUTRI SANDI



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

ABSTRAK

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

Oleh

AISIYAH PUTRI SANDI

Telah dilakukan penelitian mengenai analisis pengaruh rapat arus dan waktu elektroplating Zn-Mn terhadap laju korosi baja AISI 1020 dalam medium korosif NaCl 3%. Variasi rapat arus elektroplating yang digunakan adalah 60, 70, 80, 90, dan 100 mA/cm², sedangkan variasi waktu elektroplating yang digunakan adalah 10, 20, 30, 40, dan 50 detik,. Laju korosi dilakukan dengan perendaman baja selama 168 jam dalam medium korosif NaCl dan dihitung dengan metode kehilangan berat. Hasil penelitian menunjukkan seiring meningkatnya rapat arus dan waktu elektroplating yang digunakan maka akan semakin meningkat massa baja serta kadar Zn dan Mn yang mengakibatkan laju korosi yang semakin menurun. Laju korosi terendah diperoleh pada waktu 50 detik dengan rapat arus 100 mA/cm² yaitu sebesar 0,033 mmpy. Karakterisasi XRD baja tanpa elektroplating setelah uji korosi terjadi perubahan fasa dari besi membentuk fasa oksida yaitu fasa magnetit (Fe₃O₄). Hasil analisis mikroskop metalurgi menunjukkan lapisan pada sampel yang lebih merata seiring meningkatnya rapat arus dan waktu yang digunakan pada elektroplating, sedangkan setelah uji korosi permukaan baja tampak rusak.

Kata kunci: Baja AISI 1020, Elektroplating Zn-Mn, dan NaCl.

ABSTRACT

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

By

AISIYAH PUTRI SANDI

The influence of electroplating current density and time Zn-Mn to corrosion rate of AISI 1020 steel in corrosive medium NaCl 3% had been researching. This research used current density variation 60, 70, 80, 90, and 100 mA/cm² and time variation 10, 20, 30, 40, and 50 seconds. Corrosion rate testing is done by soaking the steel for 168 hours in corrosive medium NaCl and calculated with the loss of steel weight. The result showed that the higher electroplating current density and time that used, caused the increasing of mass and Zn-Mn content of steel. It can make the corrosion rate will be decreased. The lowest corrosion rate obtained at 50 seconds electroplating time and 100 mA/cm² current density is 0,033 mmpy. XRD characterization of steel without electroplating after corrosion rate testing showed the changing of phase from iron into oxide phase magnetite (Fe₃O₄). The analyze of metallurgical microscope showed the better layer with the increasing current density and time, whereas after corrosion rate testing the steel surface were cracks.

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

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

Oleh

AISIYAH PUTRI SANDI

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 Zn-Mn TERHADAP LAJU KOROSI BAJA AISI 1020 DALAM MEDIUM KOROSIF NaCl 3%**

Nama Mahasiswa : **Aisiyah Putri Sandi**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1317041003**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**

Drs. Ediman 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**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Arif Surtono', is written over the text of the department head's name.

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

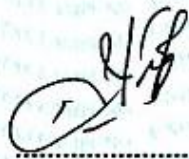
Ketua : Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.



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



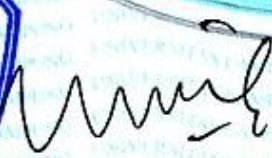
**Penguji
Bukan Pembimbing : Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.
NIP. 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 7 Desember 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, 7 Desember 2017



Aisiyah Putri Sandi
NPM. 1317041003

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Aisiyah Putri Sandi. Putri kedua dari pasangan Samsudin, S.Pd. dan Janiarti ini dilahirkan di Kalianda pada tanggal 16 Oktober 1995. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 2 Pasuruan diselesaikan pada tahun 2007, Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Bandarlampung diselesaikan pada tahun 2010, serta Sekolah Menengah Atas di SMAN 2 Bandarlampung diselesaikan pada tahun 2013.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Universitas Lampung, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Fisika melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) tahun 2013. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Sains Dasar pada tahun 2014, Fisika Eksperimen pada tahun 2015, serta aktif di kegiatan kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai anggota bidang Sosial Masyarakat dari tahun 2014-2016. Pada tahun 2016 penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Penelitian Teknologi Mineral – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTM-LIPI). Kemudian pada tahun 2017 penulis melakukan Tugas Akhir di Balai Penelitian Teknologi Mineral – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTM-LIPI) dengan judul “Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Elektroplating Zn-Mn Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1020 Dalam Medium Korosif NaCl 3%”.

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

“...Barang siapa bertakwa kepada Allah maka Dia akan menjadikan jalan keluar baginya, dan memberinya rizki dari jalan yang tidak ia sangka, dan barang siapa yang bertwakkal kepada Allah maka cukuplah Allah baginya. Sesungguhnya Allah melaksanakan kehendak-Nya, Dia telah mengadakan ketentuan bagi setiap sesuatu”

(Q.S. Ath-Thalaq: 2-3)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahilakhirabbil'aalamiin.

Sujud syukurku kusembahkan kepada ALLAH SWT, Tuhan Yang Maha Agung dan Maha Tinggi, Maha Adil dan Maha Penyayang. Atas takdir-Mu Kau jadikan aku manusia yang senantiasa berpikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam kehidupan ini. Semoga keberhasilan ini menjadikan satu langkah awal bagiku untuk meraih cita cita besarku.

Kupersembahkan sebuah karya kecil ini kepada Yang tercinta Ayahanda (Samsudin) dan Ibunda (Janiarti), Terimakasih atas doa, dorongan, nasehat dan kasih sayang, serta pengorbanaan yang tak akan tergantikan, sehingga aku selalu kuat mejalani setiap rintangan yang ada di hadapanku. Terimalah kado kecil ini bukti keseriusanku membalas pegorbananmu.

Yang tersayang Aa (Dahlan), Teteh (Nina), dan Adik (Ichwan), yang senantiasa memberikan semangat dan doa yang tulus kepadaku.

Almamaterku, Universitas Lampung yang telah mendewasakanku.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT. atas kemurahan-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Elektroplating Zn-Mn Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1020 dalam Medium Korosif NaCl 3%**”.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak guna perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi tambahan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 7 Desember 2017
Penulis,

Aisyah Putri Sandi

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT. Yang Maha Berkehendak atas segala sesuatu, sehingga atas kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: “Pengaruh Rapat Arus dan Waktu Elektroplating Zn-Mn terhadap Laju Korosi Baja AISI 1020 dalam Medium Korosif NaCl 3%” sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar sarjana pada jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Lampung.

Dalam menyusun skripsi ini, telah banyak bantuan dan petunjuk yang penulis terima dari berbagai pihak. Maka, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si, sebagai Pembimbing I yang telah membimbing penulis selama melakukan Tugas Akhir hingga selesai.
2. Bapak Yayat Iman Supriyatna, S.T., M.T. sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini dan meluangkan waktu untuk hadir ke Universitas Lampung.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Balai Pengolahan Teknologi Mineral (BPTM)-LIPI beserta pihak-pihak terkait yang telah membantu selama pelaksanaan penelitian.

5. Bapak Prof. Warsito, S.Si., DEA., Ph.D. sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung (FMIPA Unila).
7. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, M.Si. sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA Unila.
8. Seluruh dosen fisika FMIPA Unila beserta staf yang telah memberikan ilmu, arahan, dan bantuannya.
9. Bapak Tatang Solihin yang telah membantu dalam pengerjaan preparasi dan pengambilan data penelitian, serta Ibu Nurbaiti Marsas Prilitasari, S.T., dan Yepi Triapriani, S.Si., atas bantuan dan motivasinya selama penelitian di Laboratorium Analisis Kimia dan Metalurgi–Balai Penelitian Teknologi Mineral (BPTM) – LIPI.
10. Yang tercinta Ayah dan Ibu, Aa Dahlan dan Teh Ninna, serta Adikku Ichwan atas cinta, kasih sayang, serta do'a yang selalu tercurah kepada penulis.
11. Yang terkasih Uwak Abu dan Uwak Engkar, Teh Ranti dan Aa Dede, Kak Rahmat, serta Joan yang tiada henti memberikan motivasi serta kasih sayang yang begitu besar dan menghiasi hari-hari penulis.
12. Teh Yulan, Teh Yanti, Teh Rus, Teh Yenni, serta keponakan-keponakanku atas semangat dan canda tawa yang diberikan kepada penulis.
13. Keluarga besar Alm. Sumirta dan Alm. H. Zainuddin
14. Teman seperjuangan skripsiku Ratna Noviyana atas bantuan dan kerjasamanya selama penelitian.

15. Sahabat-sahabatku Sinta S, Mardi, Arta, Maria, Isma, Nia, Ilwan, Inda, Ari serta teman berjuang selama penelitian di LIPI Sinta N, Reza, dan Heru atas bantuan dan nuansa persahabatannya selama ini.
16. Rekan-rekan Fisika 2013.
17. Semua pihak yang telah membantu terwujudnya skripsi ini.

Semoga apa yang telah diberikan kepada penulis menjadi ibadah dan diterima oleh Allah SWT.

Bandar Lampung, 7 Desember 2017
Penulis

Aisiyah Putri Sandi

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	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Baja	7
2.1.1	Baja Karbon	7
2.1.2	Baja Paduan	9
2.2	Korosi	10
2.2.1	Definisi Korosi	10
2.2.2	Faktor Terjadinya Korosi	12
2.2.3	Jenis Korosi	13
2.2.4	Laju Korosi	16
2.2.5	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Elektroplating	17
2.3	Elektroplating	19
2.3.1	Definisi Elektroplating	19
2.3.2	Prinsip Kerja Elektroplating	20
2.3.3	Bahan Pelapis pada Elektroplating	21
2.3.4	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Elektroplating	23
2.4	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	25
2.5	XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	27

III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2.1	Alat dan Bahan	29
3.2.2	Alat Penelitian	29
3.2.3	Bahan Penelitian	30
3.2	Metode Penelitian	30
3.3.1	Prosedur Preparasi Baja	30
3.3.2	Prosedur Pembuatan Larutan Elektrolit dan Tahapan Elektroplating	31
3.3.3	Prosedur Pengujian Laju Korosi	31
3.3.4	Karakterisasi Baja	32
3.3.4.1	Karakterisasi XRF	32
3.3.4.2	Karakterisasi Mikroskop Metalurgi	33
3.3.4.3	Karakterisasi XRD	33
3.3	Diagram Alir Penelitian	33

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Perubahan Massa Baja	37
4.2	Data Hasil Uji <i>XRF Portable</i>	40
4.3	Data Hasil Uji Korosi	44
4.4	Analisis Mikroskop Metalurgi	47
4.5	Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	54

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Korosi Seragam	14
Gambar 2. Korosi Galvanik	14
Gambar 3. Korosi Celah.....	15
Gambar 4. Korosi Sumuran	15
Gambar 5. Proses Elektroplating.....	20
Gambar 6. Diagram alir penelitian preparasi baja	34
Gambar 7. Diagram alir pembuatan larutan elektrolit dan proses elektroplating	35
Gambar 8. Diagram alir penentuan laju korosi	36
Gambar 9. Hubungan waktu elektroplating dengan massa endapan.....	38
Gambar 10. Hubungan rapat arus elektroplating dengan massa endapan.....	40
Gambar 11. Pengaruh waktu elektroplating terhadap kadar Zn dan Mn	41
Gambar 12. Pengaruh rapat arus elektroplating terhadap kadar Zn dan Mn	43
Gambar 13. Pengaruh waktu elektroplating terhadap laju korosi	45
Gambar 14. Pengaruh rapat arus elektroplating terhadap laju korosi	47
Gambar 15. Analisis mikroskop metalurgi baja AISI 1020 hasil elektroplating pada rapat arus 60 mA/cm^2 dan waktu (a) 0; (b) 10; (c) 20; (d) 30; (e) 40; (f) 50 detik dengan perbesaran 100x	48
Gambar 16. Analisis mikroskop metalurgi baja AISI 1020 setelah uji korosi pada rapat arus 60 mA/cm^2 dan waktu (a) 0; (b) 10; (c) 20; (d) 30; (e) 40; (f) 50 detik dengan perbesaran 100x	50

Gambar 17. Analisis mikroskop metalurgi baja AISI 1020 hasil elektroplating waktu 50 detik dan rapat arus (a) 0; (b) 60; (c) 70; (d) 80; (e) 90; (f) 100 mA/cm ² dengan perbesaran 100x.	51
Gambar 18. Analisis mikroskop metalurgi baja AISI 1020 setelah uji korosi pada waktu 50 detik rapat arus (a) 0; (b) 60; (c) 70; (d) 80; (e) 90; (f) 100 mA/cm ² dengan perbesaran 100x	53
Gambar 19. Difraktogram XRD baja tanpa elektroplating	55
Gambar 20. Difraktogram XRD baja tanpa elektroplating setelah uji korosi.....	56
Gambar 21. Difraktogram XRD baja setelah elektroplating waktu 10 detik rapat arus 60 mA/cm ²	57
Gambar 22. Difraktogram XRD baja setelah elektroplating waktu 50 detik rapat arus 100 mA/cm ²	59
Gambar 23. Difraktogram XRD baja setelah elektroplating waktu 10 detik rapat arus 60 mA/cm ² setekah uji korosi	60
Gambar 24. Difraktogram XRD baja setelah elektroplating waktu 50 detik rapat arus 60 mA/cm ² setelah uji korosi	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Baja Karbon	9
Tabel 2. Hubungan laju korosi dengan ketahanan korosi relatif.....	17
Tabel 3. Nilai deret volta.....	23
Tabel 4. Perubahan massa baja hasil elektroplating dengan variasi waktu.....	38
Tabel 5. Perubahan massa baja hasil elektroplating dengan variasi rapat arus...	39
Tabel 6. Hasil Uji XRF <i>portable</i> baja AISI 1020 sebelum dan setelah elektroplating dengan variasi waktu	41
Tabel 7. Hasil Uji XRF <i>portable</i> baja AISI 1020 sebelum dan setelah elektroplating dengan variasi rapat arus	42
Tabel 8. Data hasil uji korosi dengan variasi waktu elektroplating	44
Tabel 9. Data hasil uji korosi dengan variasi rapat arus elektroplating	46
Tabel 10. Selisih nilai $2\theta/d(\text{\AA})$ antara data XRD sampel baja tanpa elektroplating dan data standar	55
Tabel 11. Selisih nilai $2\theta/d(\text{\AA})$ antara data XRD sampel baja tanpa elektroplating setelah uji korosi dan data standar.....	57
Tabel 12. Selisih nilai $2\theta/d(\text{\AA})$ antara data XRD sampel baja hasil elektroplating $t=10$ detik $j=60$ mA/cm ² dan data standar	58
Tabel 13. Selisih nilai $2\theta/d(\text{\AA})$ antara data XRD sampel baja hasil elektroplating $t=50$ detik $j=100$ mA/cm ² dan data standar	60
Tabel 14. Selisih nilai $2\theta/d(\text{\AA})$ antara data XRD sampel baja hasil elektroplating $t=10$ detik $j=60$ mA/cm ² setelah uji korosi dan data standar.....	61

Tabel 15. Selisih nilai $2\theta/d(\text{\AA})$ antara data XRD sampel baja hasil elektroplating $t=50$ detik $j=100 \text{ mA/cm}^2$ setelah uji korosi dan data standar.....	62
--	----

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam merupakan salah satu material yang dekat dengan kehidupan manusia, salah satu logam yang sering digunakan manusia berupa baja karbon rendah. Baja karbon rendah adalah suatu bahan yang memiliki unsur utama berupa besi dan karbon, serta unsur pendukung berupa Si, P, S dan Mn. Baja karbon rendah banyak digunakan untuk bahan roda gigi, mur, baut, rangka kendaraan dan juga pada perkapalan (Supriadi, 2010). Parameter mutu baja yang diinginkan manusia tidak hanya diukur dari tingkat kekerasan dan kekuatan saja, namun dibutuhkan pula baja yang tahan lama (Irwanto, 2010).

Baja banyak digunakan dalam beberapa sektor seperti industri logam, industri perhubungan, industri pertambangan, industri perkapalan dan lain sebagainya. Penggunaan baja yang berhubungan langsung dengan lingkungan sekitar mengakibatkan mutu baja banyak yang mengalami penurunan dan kerusakan material atau dikenal dengan korosi, terutama penggunaan baja pada perkapalan. Kata korosi berasal dari bahasa latin yaitu *corrodere* yang artinya perusakan logam atau berkarat (Supardi, 1997). Korosi merupakan reaksi kimia atau elektrokimia pada suatu logam dengan lingkungannya yang bersifat korosif (Trethewey dan Chamberlain, 1991). Seiring berkembangnya teknologi di dunia

ini, berkembang pula cara pencegahan korosi seperti *heat treatment* terhadap permukaan, penambahan larutan yang berfungsi sebagai inhibitor untuk menghambat laju korosi serta proses pelapisan (*coating*). Salah satu proses pelapisan (*coating*) adalah elektroplating.

Elektroplating merupakan proses pelapisan dengan bantuan arus listrik searah (DC) dan senyawa kimia tertentu yang berfungsi memindahkan partikel logam pelapis ke material yang hendak dilapis. Pada dasarnya prinsip kerja dari metode pelapisan ini dengan mengalirkan arus DC melalui sebuah penghantar yang dihubungkan dengan anoda dan katoda, keduanya dibenamkan ke dalam suatu larutan elektrolit. Pada prosesnya, ion dari anoda akan terlepas dan melapisi katoda, sehingga lapisan luar katoda akan terlapisi dengan ion-ion anodanya (Irwanto, 2010). Metode elektroplating ini memiliki banyak keunggulan, selain dapat melindungi permukaan baja dari serangan korosi, metode ini juga dapat menambah keindahan tampak luar suatu baja, disamping itu metode ini juga sederhana dan murah (El-Giar *et al*, 2000).

Pelapisan logam dapat berupa lapis seng (*zinc*), perak, emas, brass, tembaga, nikel dan krom. Pelapis seng banyak digunakan pada industri otomotif (Close, 2016). Belakangan ini bermunculan penelitian pelapisan logam dengan menggunakan mangan (Mn). Mangan merupakan salah satu dari logam biasa yang menawarkan perlindungan korban galvanik ke bagian baja (Gong, 2006).

Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Gong *et al* (2002) yang melakukan pelapisan Mn pada *stainless steel* 304 yang menggunakan larutan elektrolit berupa 0.59 M MnSO_4 dan 1 M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan variabel rapat arus 30-330

mA/cm^2 dan pH larutan saat proses elektroplating pada rentang 1.7-7.5 serta variabel waktu pada saat pengujian korosi, pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan potensiostat. Hasilnya menunjukkan rapat arus yang efisien digunakan yaitu sekitar 65 mA/cm^2 , sedangkan pH yang efisien adalah berkisar pada rentang 2-7, serta ketahanan korosi yang baik pada larutan NaCl 2.5% dan pH 3.

Selanjutnya Boshkov (2003) melakukan penelitian mengenai pelapisan baja dengan menggunakan Zn-Mn. Larutan yang digunakan berupa 10 g/l $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 100 g/l $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, serta 60 g/l $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan rentang pH berkisar 4.5-5.0 serta ukuran baja 2 cm^2 , dengan diberikan 3 perlakuan yaitu Zn murni, Zn-Mn 6% dan Zn-Mn 11%. Selain itu pada pelapisan baja ini ditambahkan lagi larutan aditif berupa *polyethyleneglycol* dan *benzoic acid* serta *benzalacetone* lalu diberi pula pelapisan krom untuk membuat hasil yang lebih berkilau. Hasil uji korosinya menunjukkan bahwa dengan kadar Zn-Mn 11% memberikan perlindungan terhadap laju korosi yang lebih baik dibandingkan dengan kadar Zn-Mn 6% dan hanya Zn murni.

Penelitian selanjutnya oleh Gong *et al* (2005) yang mengembangkan penelitiannya yaitu dengan pelapisan menggunakan paduan Cu dan Mn pada *stainless steel* 304, dengan variabel rapat arus pada saat elektroplating $50\text{-}300 \text{ mA/cm}^2$, dengan larutan elektrolit yang sama seperti sebelumnya dan ditambah CuSO_4 , pengujian laju korosi menggunakan potensiostat. Pada penelitian ini dibandingkan laju korosi bahan yang hanya dilapis Cu, bahan hanya dilapis Mn, dan bahan yang dilapis Cu-Mn, hasilnya menunjukkan nilai E_{corr} yang lebih tinggi pada bahan

yang dilapis Cu-Mn dibandingkan yang hanya dilapis Cu dan hanya dilapis Mn (Gong *et al*, 2005).

Kemudian penelitian dikembangkan lagi oleh Boskov (2006) dengan bahan yang sama dan larutan yang sama dengan penelitian sebelumnya, dengan mengambil rapat arus 2A/dm^2 , pH 5, dan pelapisan Zn-Mn 11% dan 6%. Yang membedakan adalah urutan pelapisan Zn-Mn, Zn, dan lapisan kromnya. Hasil uji korosi yang terbaik adalah pada baja yang dilapisi Zn-Mn, lapisan krom, kemudian dilapisi kembali dengan Zn.

Penelitian sejenis dilakukan oleh Diaz Arista *et al* (2009) yaitu dengan lapisan Zn-Mn. Pada penelitian ini bahan yang digunakan adalah baja AISI 1018, pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan potensiostat yang menunjukkan semakin tebalnya lapisan maka nilai *Ecorr* semakin besar sedangkan nilai *Icorr* semakin kecil.

Selanjutnya Bucko *et al* (2011) melakukan penelitian pelapisan Zn-Mn dengan variabel rapat arus $10\text{-}140\text{ mA/cm}^2$. Hasilnya menunjukkan dengan rapat arus 30 mA/cm^2 nilai ketahanan korosinya lebih baik. Pada penelitian Ganesan *et al* (2014) yaitu tentang pengaruh lapisan Zn-Mn terhadap perlindungan korosi, menggunakan waktu elektroplating 10 menit, dengan larutan ZnCl_2 , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaC}_6\text{H}_{11}\text{O}_7$, KCl, dan H_3BO_3 , luas sampel 0.16 cm^2 , serta pH 4, ketahanan korosi yang terbaik adalah dengan kadar Mn 17 %.

Berdasarkan uraian di atas, untuk mengetahui lebih jauh hasil elektroplating terhadap laju korosi, maka pada penelitian ini akan dilakukan metode elektroplating menggunakan pelapis Zn-Mn pada baja AISI 1020 dengan variabel

waktu dan rapat arus. Pada penelitian ini pelapis Mn diharapkan mampu mengurangi laju korosi, dan pelapis Zn dapat berfungsi sebagai *brighteners* yang dapat memperindah serta memperbaiki sifat fisik dan mekanik pada baja. Selanjutnya baja akan dikarakterisasi dengan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui perubahan kadar baja setelah elektroplating, Mikroskop Metalurgi untuk melihat struktur mikro, XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk melihat fasa pada baja, serta mengetahui laju korosi menggunakan metode penurunan berat.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh waktu yang digunakan pada proses elektroplating terhadap laju korosi pada AISI 1020?
2. Bagaimana pengaruh rapat arus yang digunakan pada proses elektroplating terhadap laju korosi pada baja AISI 1020?
3. Bagaimana komposisi, struktur mikro, fasa, dan ketahanan baja terhadap korosi yang dihasilkan pada baja AISI 1020 yang telah mengalami proses elektroplating?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah baja AISI 1020 yang dilapisi Zn-Mn dengan variasi rapat arus dan waktu.
2. Medium korosif yang digunakan adalah NaCl dengan konsentrasi 3%.

3. Laju korosi dihitung dengan metode kehilangan berat.
4. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*), Mikroskop Metalurgi, dan XRD (*X-Ray Diffraction*)

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh waktu yang digunakan pada proses elektroplating terhadap laju korosi pada baja AISI 1020.
2. Mengetahui pengaruh rapat arus yang digunakan pada proses elektroplating terhadap laju korosi pada baja AISI 1020.
3. Mengetahui komposisi kimia, struktur mikro, fasa, dan ketahanan baja terhadap korosi yang dihasilkan pada baja AISI 1020 yang telah mengalami proses elektroplating.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu:

1. Untuk memberikan informasi mengenai pengaruh rapat arus dan waktu pada proses elektroplating baja AISI 1020.
2. Dapat menjadi tambahan referensi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terutama di Jurusan Fisika.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Baja merupakan sebuah material yang terbentuk dari paduan Fe (besi) sebagai unsur dasar dan C (karbon) sebagai unsur paduan utamanya serta unsur-unsur lainnya seperti Mn, Si, Ni, Cr, V. Pengaruh kandungan karbon pada baja adalah pada kekuatan, kekerasan, serta mudah dibentuk. Semakin besar kandungan karbon, maka semakin meningkat kekerasan baja tersebut namun semakin rapuh dan tidak mudah dibentuk (Davis, 1982). Berdasarkan komposisinya klasifikasi baja terbagi menjadi dua macam yaitu baja karbon (*carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*).

2.1.1 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Baja karbon bukan berarti baja yang tidak mengandung unsur lain selain besi dan karbon, baja karbon masih mengandung unsur-unsur lain tetapi tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Berdasarkan konsentrasi karbonnya, baja karbon dibagi kedalam tiga macam yaitu:

1. Baja karbon rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kadar karbon dibawah 0.3%. Ciri khusus baja jenis ini memiliki struktur mikro yang terdiri dari ferit dan

perlit, tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk martensit, relatif lunak namun ulet dan tangguh, mampu lasnya baik serta harganya yang relatif murah. Baja karbon rendah biasanya digunakan pada komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng pagar, dan lain-lain (ASM handbook, 1993).

2. Baja karbon sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja dengan kadar karbon antara 0.25 sampai 0.6%. Ciri khusus baja karbon sedang yaitu memiliki kekerasan yang rendah, untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya baja ini dapat diberi perlakuan *austenizing*, *quenching*, dan *tempering*. Baja ini biasanya digunakan pada poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut dan lain-lain (ASM handbook, 1993).

3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja dengan kadar karbon 0.60 sampai 1,40 %. Ciri khusus baja karbon tinggi yaitu memiliki kekerasan yang paling tinggi dan paling kuat, rendah dalam kelenturan dibanding baja karbon rendah dan sedang, memiliki tambahan komposisi nikel atau kobalt, krom atau tungsten, serta tegangan tarik yang paling tinggi. Baja ini biasanya digunakan pada palu, gergaji, atau pahat potong dan lain-lain (ASM handbook, 1993).

Menurut Wiryosumarto tahun 2000, klasifikasi baja karbon adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Baja Karbon.

Jenis	Kadar Karbon (%)	Kek. Luluh (Kg/mm ²)	Kek. Tarik (Kg/mm ²)	Kek. Brinel(Kg/mm ²)	Penggunaan
Baja Karbon Rendah :					
Baja Lunak Khusus	0,08	18-28	32-36	95-100	Pelat Tipis
Baja Sangat Lunak	0,08-0,12	20-29	36-42	80-120	Batang Kawat
Baja Lunak Khusus	0,12-0,2	22-30	38-48	100-130	Konstruksi
Baja Setengah Lunak	0,2-0,3	24-36	44-45	112-145	Umum
Baja Karbon Sedang	0,3-0,5	30-40	50-60	140-170	Alat-alat Mesin
Baja Karbon Tinggi:					
Baja Keras	0,5-0,6	34-46	58-70	160-200	Perkakas, Rel, Pegas
Baja Sangat Keras	0,6-0,8	36-47	36-47	180-235	Kawat Piano

2.1.2 Baja Paduan

Baja paduan merupakan baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur tambahan sesuai dengan sifat-sifat yang dikehendaki (Mulyanti, 1996). Adanya baja paduan ini dikarenakan keterbatasan sifat-sifat spesial dari baja yaitu kelistrikan, koefisien spesifik, magnetis, serta pemuaiannya. Baja paduan terdiri dari tiga jenis yaitu: baja 2,5% wt, baja paduan menengah (*medium alloy steel*) dengan unsur paduan 2,5 % - 10% wt (Mulyanti, 1996), serta baja paduan tinggi (*high alloy steel*) dengan unsur paduan >10% wt (Amanto dan Daryanto, 1999).

1. Baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan dengan unsur paduan 2,5% wt. Dengan kadar karbon yang sama dengan baja karbon, baja ini memiliki kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon. Dengan kadar karbon yang sama atau mempunyai keuletan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Baja jenis ini biasanya digunakan untuk perkakas seperti pahat kayu, poros dan gergaji.

2. Baja paduan menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja dengan paduan elemen 2,5%-10%. Pada baja paduan ini unsur-unsur yang terkandung adalah Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan >10% wt (Amanto dan Daryanto, 1999). Pada baja paduan ini unsur-unsur yang dimiliki diantaranya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, dan P (Mulyanti, 1996).

2.2 Korosi

2.2.1 Definisi Korosi

Korosi merupakan sebuah proses degradasi material akibat interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Pada umumnya reaksi tersebut berupa reaksi elektrokimia yang menimbulkan reaksi korosi (Trethewey *et al*, 1991). Menurut Jones 1992, korosi didefinisikan sebagai proses degradasi material secara kualitas maupun kuantitas karena peristiwa reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungannya berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan

asam dan lainnya (Roberge, 1999). Korosi merupakan peristiwa alamiah yang terjadi pada suatu bahan dan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam (Supriyanto, 2007).

Mekanisme korosi menggunakan reaksi elektrokimia yang melibatkan perpindahan elektron-elektron hasil reaksi reduksi-oksidasi (Fontana, 1987).

Reaksi reduksi merupakan reaksi penangkapan elektron yang logamnya sebagai katoda, dengan reaksi yang umum terjadi sebagai berikut (Fontana, 1987):



Sedangkan reaksi oksidasi merupakan reaksi pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif, dengan reaksi yang terjadi pada proses korosi sebagai berikut (Fontana, 1987):



Pada proses korosi terdapat 4 komponen penting yang mempengaruhi dalam kelangsungan korosi, yaitu:

1. Anoda, merupakan bahan logam yang mengalami reaksi oksidasi atau melepaskan elektron dari atom logam netral kemudian membentuk ion yang bereaksi untuk membentuk karat.
2. Katoda, merupakan bahan logam yang mengalami reaksi katodik atau menerima elektron dari reaksi anodik. Pada larutan asam akan terbentuk gas H_2 , sedangkan pada larutan basa akan terbentuk gas O_2 . Hal ini dikarenakan reaksi pada katoda bergantung pada pH larutan.

3. Elektrolit, merupakan sebuah media berupa larutan yang mengandung ion-ion dapat menghantarkan arus listrik sebagai media perpindahan elektron dari anoda menuju katoda. Larutan yang dapat digunakan sebagai elektrolit dapat berupa larutan asam, basa, dan garam.
4. Reaksi antara anoda dan katoda, antara anoda dan katoda harus terjadi kontak langsung yang menghasilkan reaksi spontan dengan melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi.

2.2.2 Faktor Terjadinya Korosi

Terjadinya korosi dikarenakan adanya beberapa faktor, faktor-faktor tersebut yaitu udara, air, tanah dan zat-zat kimia.

1. Udara

Udara merupakan suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan bumi dengan komposisi campuran gas yang tidak selalu konsisten. Udara dapat menyebabkan timbulnya korosi karena dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab sehingga kemungkinan terjadi korosi lebih besar.

2. Air

Air terbagi atas air laut dan air tawar, unsur-unsur yang bersifat korosif biasanya terdapat banyak di air laut. Air laut memiliki konduktivitas yang sangat tinggi dan ion klorida yang dapat menembus permukaan logam sehingga sangat berpengaruh terhadap laju korosi terhadap logam yang kontak langsung ataupun tidak (Kirk *and* Othmer, 1965).

Sedangkan pada air tawar memiliki zat terlarut yang membentuk asam, misalnya belerang dioksida, karbon dioksida dan lainnya, kandungan inilah yang mempercepat laju korosi (Sulaiman, 1978).

3. Tanah

Material yang sering terkena korosi di dalam tanah berupa pipa, kabel, dan pada pondasi logam yang terendam di dalamnya. Korosi yang terjadi di dalam tanah disebabkan oleh kurangnya oksigen. Di dalam tanah juga dapat terjadi korosi elektrokimia dapat karena adanya arus listrik yang hadir karena kebocoran arus listrik dari kabel seperti dari jalan rel kereta api.

4. Zat-zat kimia

Asam, basa, dan garam merupakan zat kimia yang dapat menyebabkan korosi. Ketiga zat kimia ini dapat berupa cair atau gas. Suatu material dapat terkorosi oleh zat kimia dikarenakan material tersebut mengalami kontak langsung dengan zat kimia (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

2.2.3 Jenis korosi

Jenis-jenis korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu lingkungan korosif, mekanisme, material yang digunakan dan beberapa faktor lain. Jenis-jenis korosi berdasarkan mekanismes terjadinya korosi yang sering terjadi pada material sehari-hari adalah sebagai berikut (Das, 2004) :

1. Korosi Seragam (*Uniform*)

Korosi ini merupakan jenis korosi yang terjadi secara merata dipermukaan, dengan kecepatan korosi disetiap permukaan adalah sama. Korosi ini terjadi

karena reaksi kimia yang dikarenakan pH air yang rendah dan udara yang lembab, akibatnya logam semakin menipis.



Gambar 1. Korosi Seragam (*ASM Handbook*, 1991)

2. Korosi Galvanik

Korosi ini merupakan jenis korosi yang terjadi akibat dua logam atau lebih dengan potensial reduksi berbeda yang terhubung melalui elektrolit. Pada korosi jenis ini logam yang bersifat anoda terkorosi, sedangkan yang bersifat katoda akan terlindung dari korosi



Gambar 2. Korosi Galvanik (*ASM Handbook*, 1991).

3. Korosi Celah (*Crevice*)

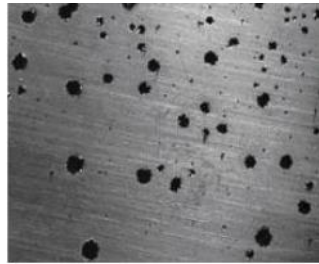
Korosi jenis ini merupakan korosi yang terjadi karena adanya celah antara dua logam sejenis yang digabungkan yang menyebabkan perbedaan kadar oksigen diantara area dalam dan luar celah, perbedaan kadar oksigen tersebutlah yang akan mengakibatkan korosi.



Gambar 3. Korosi Celah (Priyotomo, 2008).

4. Korosi Sumuran (*Pitting*)

Korosi jenis ini merupakan salah satu jenis korosi terlokalisasi, korosi ini menyebabkan terbentuknya cekungan atau lubang pada permukaan logam yang terkorosi. Korosi sumuran dapat terjadi karena ketidakhomogenan lapisan pelindung (*passive film*).



Gambar 4. Korosi Sumuran.

5. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)

Korosi jenis ini terjadi karena terbentuknya kromium karbida di sekitar batas butir, akibatnya daerah yang ditinggalkan krom lebih cepat terserah korosi.

6. Korosi Erosi

Korosi jenis ini terjadi karena hadirnya fluida korosif yang mengalir pada permukaan material. Dengan kecepatan tinggi fluida korosif yang mengalir, akibatnya terjadi keausan mekanis atau abrasi, lapisan pelindung akhirnya terkikis sehingga terjadi korosi.

7. *Dealloying*

Korosi jenis ini merupakan peristiwa lepasnya unsur-unsur paduan yang bersifat anodik dari logam paduan. Unsur-unsur paduan biasanya berupa elemen aktif terhadap beberapa elemen pelarut

8. Korosi Aliran (*Flow Inducted Corrosion*)

Korosi jenis ini terjadi akibat adanya pengaruh dari aliran terhadap terjadinya korosi. Korosi ini merupakan peningkatan laju korosi yang disebabkan oleh turbulensi fluida dan perpindahan massa karena adanya aliran fluida di atas permukaan logam.

9. *Hydrogen Damage*

Korosi ini terjadi akibat tegangan internal pada material karena adanya molekul-molekul gas hydrogen yang berdifusi ke dalam struktur atom logam. Hidrogen pada material dapat terbentuk karena reduksi H_2O , penetrasi hidrogen inilah yang mengakibatkan korosi pada material.

2.2.4 Laju Korosi

Laju korosi merupakan banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Pada umumnya, laju korosi dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy). Hubungan antara laju korosi dengan ketahanan korosi relatif dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan laju korosi dengan ketahanan korosi relatif (Jones, 1992).

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi		
	Mpy	Mmpy	mpy
Sangat baik	<1	<0,02	<25
Baik	1 – 5	0,02 – 0,1	25 – 100
Cukup	5 – 20	0,1 – 0,5	100 – 500
Kurang	20 – 50	0,5 – 0,1	500 – 1000
Buruk	50 – 200	1 – 5	1000 – 5000

Untuk menghitung laju korosi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan metode kehilangan berat dan metode polarisasi elektrokimia. Berdasarkan metode kehilangan berat laju korosi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \quad (2.6)$$

Keterangan: CR : Laju Korosi (mm/tahun)

K : Konstanta Laju Korosi

W : Selisih Massa (mg)

T : Waktu Perendaman (tahun)

A : Luas Permukaan (mm^2)

: Massa Jenis (mg/mm^3)

2.2.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi adalah:

1. Jenis logam dan struktur mikroskopis logam
 - a. Semakin inert suatu logam, maka semakin tahan logam tersebut terhadap korosi.

- b. Tidak homogenya susunan dari logam, maka akan menimbulkan sel korosi pada logam itu sendiri.

2. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit

Larutan elektrolit adalah air yang mengandung anion dan kation (Piere R, 2008). Beberapa faktor yang mempengaruhi korosifitas suatu larutan antara lain:

a. Konduktivitas

Naiknya konduktivitas suatu larutan, maka daya hantar listrik larutan tersebut akan semakin baik, akibatnya laju korosi lebih cepat terjadi. Adanya ion klorida (Cl^-) dalam elektrolit akan meningkatkan konduktivitas larutan tersebut, sehingga aliran arus korosi akan lebih meningkat.

b. pH

Kenaikan laju korosi pada logam besi terjadi pada pH di bawah 4 dan di atas 12, hal ini disebabkan karena lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk.

c. Gas terlarut

Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi). Laju korosi dipengaruhi oleh bermacam-macam kondisi fisik yang terdapat dalam suatu gas terlarut, seperti:

- Temperatur

Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi laju korosi. Pada sistem tertutup laju korosi akan terus bertambah, sedangkan pada sistem

terbuka kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan kelarutan gas O_2 , dan akan menurunkan laju korosi pada titik tertentu.

- Tekanan

Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan gas terlarut, dengan konsekuensi akan menaikkan laju korosi pada sistem.

- Kecepatan alir fluida

Adanya kecepatan alir fluida yang berbeda-beda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi.

2.3 Elektroplating

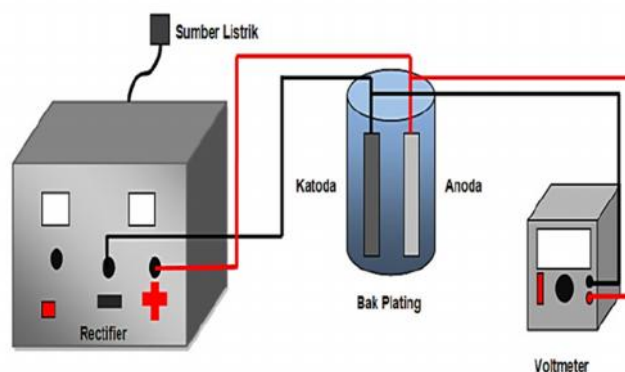
2.3.1 Definisi Elektroplating

Menurut Purwanto (2005), elektroplating merupakan peristiwa perpindahan ion logam yang mengendap pada benda padat konduktif membentuk lapisan logam yang dibantu dengan arus listrik melalui elektrolit. Lapisan yang mengendap disebut deposit. Proses pengendapan pada katoda dikarenakan adanya perpindahan ion-ion secara terus-menerus menggunakan tegangan yang konstan, akhirnya ion-ion tersebut mengendap dan menempel kuat membentuk suatu lapisan permukaan (Paridawati, 2013). Pada teknologi pengerjaan logam, elektroplating digunakan sebagai proses *finishing* atau pengerjaan akhir suatu logam. Namun, selain memberikan tampilan yang lebih menarik elektroplating memberikan manfaat lain bagi logam yaitu dapat menambah kekerasan dan ketahanan aus logam, mencegah timbulnya korosi, serta menambah ketebalan

logam (Supriadi, 2010). Metode elektroplating memiliki banyak keunggulan, dengan teknik yang menarik, sederhana, serta murah, selain itu banyak material yang dapat dilakukan elektroplating seperti logam, logam *alloy*, dan semikonduktor dengan ketebalan yang diendapkan tidak memiliki batas maksimal (El-Giar *et al*, 2000).

2.3.2 Prinsip Kerja Elektroplating

Anoda, katoda, dan larutan elektrolit merupakan ketiga istilah yang digunakan dalam pelapisan material terutama logam. Prinsip kerja elektroplating diilustrasikan pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Proses Elektroplating (Yerikho, 2013)

Anoda merupakan terminal positif yang dihubungkan dengan kutub positif dari sumber listrik searah (*Direct Current*), sedangkan katoda yang merupakan terminal negatif dihubungkan dengan elektroda negatif dari sumber listrik searah. Pada prinsip kerja ini, anoda ada yang larut ada pula yang tidak larut, anoda yang tidak larut dapat berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja, sedangkan anoda yang larut barulah berfungsi sebagai bahan baku pelapis. Material yang akan dilapisi (katoda) harus bersifat konduktif atau dapat

menghantarkan listrik. Proses elektroplating ini dilakukan pada suatu larutan elektrolit yang mengandung senyawa logam. Dalam larutan elektrolit ini, ion logam yang bermuatan positif menuju material yang bermuatan negatif, kemudian ion logam akan tereduksi menjadi logam baru dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit). Dapat dikatakan, anoda merupakan bahan baku pelapis, sedangkan katoda merupakan material yang akan dilapisi (Supriadi, 2010).

2.3.3 Bahan pelapis pada elektroplating

Pada elektroplating bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai pelapis diantaranya adalah:

1. Tembaga

Tembaga merupakan bahan yang biasa digunakan dalam bentuk paduan. Tembaga bersifat liat, lunak, dan ulet, selain itu tembaga juga tidak mudah teroksidasi oleh udara. Tembaga bereaksi dengan sulfide, tetapi terbentuk *tarnish* (bercak) sehingga sulit untuk disolder. Hal ini menyebabkan tembaga masih sering dilapisi timah (Hartono, 1992).

2. Nikel

Nikel merupakan bahan yang bersifat *ferromagnetic*, namun ketika di atas 352°C bersifat *paramagnetic*. Nikel memiliki kekuatan dan kekerasan sedang, dengan keliatan dan keuletan yang baik serta daya hantar listrik dan termal yang baik. Pada elektroplating, nikel biasanya digunakan sebagai katalis. Nikel merupakan pelapis logam yang sangat peka responnya terhadap aditif-aditif bak *plating* (Hartono, 1992).

3. Khrom

Khrom merupakan logam non ferro. Khrom merupakan lapisan yang memiliki sifat yang keras, dengan warna putih kebiru-biruan, dan tahan terhadap efek kekusaman yang tinggi, dikarenakan hal tersebut pelapisan khrom sangat diminati untuk penampilan logam yang lebih menarik. Selain itu pelapisan ini juga dapat menjadikan hasil pelapisan yang keras.

4. Seng

Seng merupakan pelapis logam yang tahan terhadap korosi, dengan harga murah, dan dapat menghasilkan tampilan permukaan yang cukup baik. Pelapisan seng melalui elektroplating dapat menghasilkan lapisan yang merata, dan daya rekat lapisan yang baik. Dalam pelapisan seng ini, larutan elektrolit yang biasa digunakan berupa larutan asam dan larutan sianida

5. Timah putih

Pelapisan timah putih biasanya digunakan untuk kaleng-kaleng makanan, minuman dan sebagainya.

6. Mangan

Mangan merupakan salah satu dari pelapis yang memiliki potensi yang sangat baik untuk menawarkan perlindungan galvanic ke bagian baja. Namun pelapis mangan tidak bisa bertahan lama, maka mangan dipadu dengan logam mulia lainnya seperti Zn, Ni, Cr, Co, Cu, atau Sn untuk mengurangi reaktivitas (Brenner, 1963).

7. Seng-Mangan (Zn-Mn)

Pelapisan menggunakan Zn-Mn dilakukan untuk meningkatkan kapasitas lapisan pelindung, selain itu pelapisan Zn-Mn meningkatkan sifat anti

korosi. Zn-Mn memberikan perlindungan yang baik pada permukaan oksida logam (Bucko *et al*, 2011).

Logam yang digunakan sebagai bahan pelapis elektroplating dalam perlindungan korosi adalah logam yang lebih aktif dibandingkan baja. Hal ini dapat kita lihat dari potensial reduksi logam yang terdapat pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Nilai deret Volta (Silberberg, 2000).

Reaksi Reduksi	Logam	E^0 (volt)
$\text{Li}^+ + e$ Li	Li	-3,04
$\text{K}^+ + e$ K	K	-2,92
$\text{Ca}^{2+} + 2e$ Ca	Ca	-2,87
$\text{Na}^+ + e$ Na	Mg	-2,71
$\text{Mg}^{2+} + 2e$ Mg	Na	-2,37
$\text{Be}^{2+} + 2e$ Be	Al	-1,85
$\text{Al}^{3+} + 3e$ Al	Mg	-1,66
$\text{Mn}^{2+} + 2e$ Mn	Mn	-1,18
$\text{Zn}^{2+} + 2e$ Zn	Zn	-0,76
$\text{Cr}^{3+} + 3e$ Cr	Cr	-0,74
$\text{Fe}^{2+} + 2e$ Fe	Fe	-0,44
$\text{Cd}^{2+} + 2e$ Cd	Cd	-0,40
$\text{Co}^{2+} + 2e$ Co	Co	-0,28
$\text{Ni}^{2+} + 2e$ Ni	Ni	-0,25
$\text{Sn}^{2+} + 2e$ Sn	Sn	-0,14
$\text{Pb}^{2+} + 2e$ Pb	Pb	-0,13
$2\text{H}^+ + 2e$ H_2	H_2	0,00
$\text{Sb}^{3+} + 3e$ Sb	Sb	+0,10
$\text{Sn}^{4+} + 4e$ Sn	Sn	+0,13
$\text{Cu}^{2+} + 2e$ Cu	Cu	+0,34
$\text{Hg}^{2+} + 2e$ Hg	Hg	+0,62
$\text{Fe}^{3+} + 3e$ Fe	Fe	+0,77
$\text{Ag}^+ + e$ Ag	Ag	+0,80
$\text{Pt}^{2+} + 2e$ Pt	Pt	+1,50
$\text{Au}^{3+} + 3e$ Au	Au	+1,52
$\text{Co}^{3+} + 3e$ Co	Co	+1,82

2.3.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi elektroplating

1. Suhu

Sangat penting guna mengetahui cocoknya jalan reaksi dan melindungi pelapisan.

2. Kerapatan arus

Arus yang tinggi merupakan kerapatan arus yang baik. Pada umumnya rapat arus mempengaruhi waktu pelapisan untuk mencapai ketebalan yang dibutuhkan.

3. Konsentrasi ion

Struktur deposit dipengaruhi oleh konsentrasi ion, semakin naiknya konsentrasi logam maka semakin menaikkan seluruh kegiatan anion yang membantu mobilitas ion.

4. Agitasi

Terdiri dari jalannya katoda dan jalannya larutan. Agitasi ini digunakan untuk menghindari bentuk/struktur, penampilan, dan ketebalan lapisan yang tidak seragam.

5. *Throwing power*

Merupakan kemampuan larutan penyalur untuk menghasilkan lapisan dengan ketebalan yang merata dan sejalan dengan terus berubahnya jarak antara anoda dan permukaan komponen selama proses pelapisan.

6. Konduktivitas

Konduktivitas larutan tergantung pada konsentrasi ion yang besar atau jumlah konsentrasi molekul.

7. Nilai pH

Nilai pH merupakan faktor pengontrol larutan elektroplating.

8. Pasivitas

Jika muncul pasivitas pada anoda, maka proses elektroplating akan terganggu karena ion-ion logam pelapis terus menurun (Suarsana, 2008).

9. Waktu pelapisan

Waktu pelapisan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada proses elektroplating. Hal ini berpengaruh pada ketebalan lapisan yang diharapkan (Kirk, 1979). Semakin lama waktu pencelupan maka ketebalan lapisan semakin bertambah (Putra, 2005).

2.4 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Sinar-X telah ditemukan pada tahun 1895 oleh fisikawan Jerman Roentgen. Sinar-X pada awalnya masih menjadi misteri, maka dinamakan sinar-X. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik mirip dengan sinar tampak, namun sinar-X memiliki panjang gelombang yang lebih pendek. Secara keseluruhan besar panjang gelombang sinar-X adalah dalam angstrom (Å) yaitu sama dengan 10^{-8} cm, dan sinar-X digunakan dalam difraksi dengan besar panjang gelombang antara 0,5 - 2,5 Å. Difraksi adalah fenomena hamburan di mana sejumlah besar atom bekerja sama. Karena atom-atom disusun secara berkala pada kisi, sinar tersebar oleh mereka yang memiliki hubungan fase yang pasti, hubungan fase ini mengakibatkan interferensi destruktif yang terjadi pada kebanyakan arah hamburan, tetapi dalam beberapa arah terjadi interferensi konstruktif dan terbentuk difraksi sinar. Kedua kejadian ini adalah gerakan gelombang interferensi (sinar-X) dan satu set pusat hamburan diatur secara berkala (atom dari kristal) (Cullity, 1977).

Difraksi sinar-X (XRD) merupakan alat yang digunakan untuk menentukan struktur dan pengenalan bahan-bahan baik keramik, logam, gelas maupun komposit. Teknik dasar XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin

dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi untuk mendapatkan ukuran partikel (Widhyastuti dkk, 2009). Komponen dasar XRD terdiri dari sumber sinar-X (*X-Ray source*), material uji (spesimen), dan detektor sinar-X (*X-Ray detector*) (Sartono, 2006). Dalam teknik pengujian dengan metode difraksi sinar-X, sampel yang digunakan dapat berupa serbuk atau padatan kristalin yang diletakkan pada plat kaca.

XRD merupakan teknik analisis non-destruktif dengan menggunakan sinar-X sebagai penghantar. Intensitas dari sinar-X yang didifraksikan mengenai permukaan sampel membentuk pola interferensi sebagai fungsi sudut hambur yang memenuhi hukum Bragg. Pola interferensi tersebut yang kemudian diolah sehingga diketahui struktur kristal, komposisi kimia serta sifat-sifat bahan (Glatzel, 2013).

XRD merupakan salah satu teknik analisis tak merusak pada material yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan jarak antar atom. X-ray yang dihasil alat akan dikontakan pada spesimen pada jarak tertentu dengan sudut yang berbeda dan setiap intensitas difraksi yang dipantulkan diukur. Setiap struktur kristal senyawa kimia memiliki pola difraksi yang unik. Dengan membandingkan spesimen yang diukur dengan database *The Interational Center Diffraction Data* (ICDD), maka pola atau struktur spesimen dapat diketahui (Boucher, A. et al, 2012).

2.5 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF (*X-Ray Fluorescence*) merupakan suatu alat uji yang menggunakan suatu teknik analisis yang dapat menganalisa unsur-unsur yang membangun suatu material. Di samping itu, alat ini juga dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur berdasarkan pada panjang gelombang dan jumlah sinar X yang dipancarkan kembali setelah suatu material ditembak dengan sinar X berenergi tinggi. XRF merupakan instrumen yang banyak digunakan pada teknik industri saat ini, dikarenakan metode yang digunakan pada XRF tidak merusak sampel uji dan bisa diterapkan dalam bentuk padatan, serbuk atau cairan bahkan gas. Disamping itu XRF memiliki reputasi yang dapat dibenarkan pada presisi tinggi, maka XRF sering menjadi teknik yang dipilih dalam menentukan unsur utama dalam batuan (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe) dengan nilai ketidakpastian relatif kurang dari 0,2 sampai 0,4% (Potts and Webb, 1992).

Prinsip kerja metode analisis XRF ini yaitu berdasarkan terjadinya tumbukan atom-atom pada permukaan sampel (bahan) oleh sinar-X dari sumber sinar-X (Kriswarini, 2010). Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang merupakan jenis unsur sesuai dengan karakteristik energi sinar-X, sedangkan analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar. Faktor-faktor yang mempengaruhi analisis kuantitatif adalah matriks bahan, kondisi kevakuman, dan konsentrasi unsur bahan.

XRF spektrometer terbagi menjadi dua kategori yaitu XRF panjang gelombang dispersif dan XRF energi dispersif. Spektrometer panjang gelombang dispersif merupakan hal yang serupa dengan fluorimeter konvensional yang menggunakan

kisi monokromator untuk mendispersikan pancaran foton. Sistem energi dispersif dioperasikan tanpa elemen dispersi, melainkan foton *fluorescence* dari sampel dihitung dengan detektor yang secara bersamaan menganalisis energinya. Saat ini, XRF energi dispersif lebih ekstensif digunakan pada spektrometer *portable* karena instrumentasinya lebih sederhana dan penampilannya lebih baik (Hou *et al.*, 2004).

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), Tanjung Bintang, Lampung Selatan.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari neraca digital yang digunakan untuk menimbang baja dan bahan yang diperlukan, alat pemotong baja untuk memotong baja sesuai dengan yang dibutuhkan, kertas amplas untuk membersihkan permukaan baja, timbangan digital untuk mengetahui massa baja, *rectifier* sebagai pengubah arus AC menjadi DC, bak *plating* sebagai wadah proses electroplating, *stopwatch* untuk menghitung waktu, indikator pH untuk mengetahui pH larutan yang digunakan, XRF (X-Ray Fluorescence) untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung pada baja sebelum dan setelah elektroplating, Nikon *Inverted Metallurgical Microscope (IMM) Eclipse MA 100* untuk mengetahui struktur mikro pada baja sebelum dan setelah elektroplating, PANalytical XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui fasa

yang terbentuk pada baja.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: baja karbon AISI 1020 sebagai sampel uji, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ dan $MnSO_4 \cdot H_2O$ sebagai larutan elektrolit, alkohol untuk mencuci baja, natrium klorida (NaCl) 3% sebagai medium korosif, dan aquabides sebagai bahan untuk melarutkan.

3.3 Metode Penelitian

Prosedur kerja penelitian dibagi menjadi 3 tahap, pertama yaitu preparasi sampel baja, pembuatan larutan elektrolit dan tahap elektroplating Zn-Mn kemudian melakukan prosedur percobaan untuk melihat laju korosi pada baja yang telah di elektroplating yang akan dijelaskan seperti di bawah ini:

3.3.1 Prosedur preparasi baja

Baja yang akan digunakan dipreparasi dengan tahapan berikut ini:

1. Memotong spesimen uji menggunakan mesin pemotong
2. Membersihkan baja dan memperhalus permukaannya menggunakan amplas yang kasar dan halus untuk menghilangkan pengotor.
3. Membilas baja dengan menggunakan aquades dan alkohol yang berfungsi untuk menghilangkan sisa-sisa kotoran yang masih ada pada permukaan benda kerja.
4. Baja siap untuk dielektroplating.

3.3.2 Prosedur pembuatan larutan elektrolit dan tahap elektroplating

Langkah-langkah pembuatan larutan elektrolit dan tahap elektroplating adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan larutan elektrolit dengan melarutkan 0,07 M $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan 1,18 M $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan 125 ml aquades kemudian mencampurkan kedua larutan.
2. Menimbang massa baja dengan neraca digital sebelum proses elektroplating.
3. Menguji komposisi baja sebelum elektroplating menggunakan XRF serta struktur mikro baja menggunakan mikroskop metalurgi.
4. Melakukan proses elektroplating dengan menghubungkan *stainless steel* (anoda) ke kutub positif dan baja AISI 1020 (katoda) ke kutub negatif.
5. Mencilupkan anoda dan katoda padalarutan elektrolit dengan variasi rapat arus dan waktu elektroplating.
6. Memutuskan arus setelah selesai elektroplating dan mengangkat baja.
7. Mengeringkan baja yang telah dielektroplating.
8. Menimbang kembali baja dengan neraca digital.
9. Menguji kembali komposisi dan struktur mikro baja setelah elektroplating.

3.3.3 Prosedur Pengujian Laju Korosi

Langkah-langkah dalam pengujian laju korosi adalah sebagai berikut:

1. Membuat medium korosif yang merupakan larutan yang dapat mengakibatkan terjadinya korosi. Medium korosif pada penelitian ini adalah NaCl dengan konsentrasi 3%. Cara pembuatan larutan NaCl yaitu

mengencerkan NaCl dengan aquabides. Untuk pengenceran larutan NaCl ditentukan secara matematis berdasarkan persamaan (3.1).

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \quad (3.1)$$

Keterangan: V_1 = Volume mula-mula
 M_1 = Konsentrasi mula-mula
 V_2 = Volume setelah pengenceran
 M_2 = Konsentrasi setelah pengenceran

Pembuatan larutan NaCl dengan konsentrasi 3% yaitu 16,8 gram NaCl ditambahkan dengan aquabides sampai volume 560 ml.

2. Merendam baja tanpa dan hasil elektroplating pada medium korosif NaCl 3% selama 168 jam.
3. Membersihkan sampel menggunakan alkohol dan aquades lalu dibiarkan hingga kering. Selanjutnya ditimbang untuk mengetahui massa akhir sampel.

3.3.4 Karakterisasi baja

3.3.4.1 Karakterisasi XRF

Karakterisasi XRF digunakan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan kadar unsur yang terkandung pada baja sebelum dan setelah mengalami proses elektroplating, serta sebelum dan setelah dilakukan uji korosi. XRF yang digunakan berjenis XRF *portable* yang dioperasikan dengan cara menembakkan langsung XRF *portable* pada permukaan baja yang hendak diuji, hasil kandungannya akan langsung tertera pada alat tersebut.

3.3.4.2 Karakterisasi Mikroskop Metalurgi

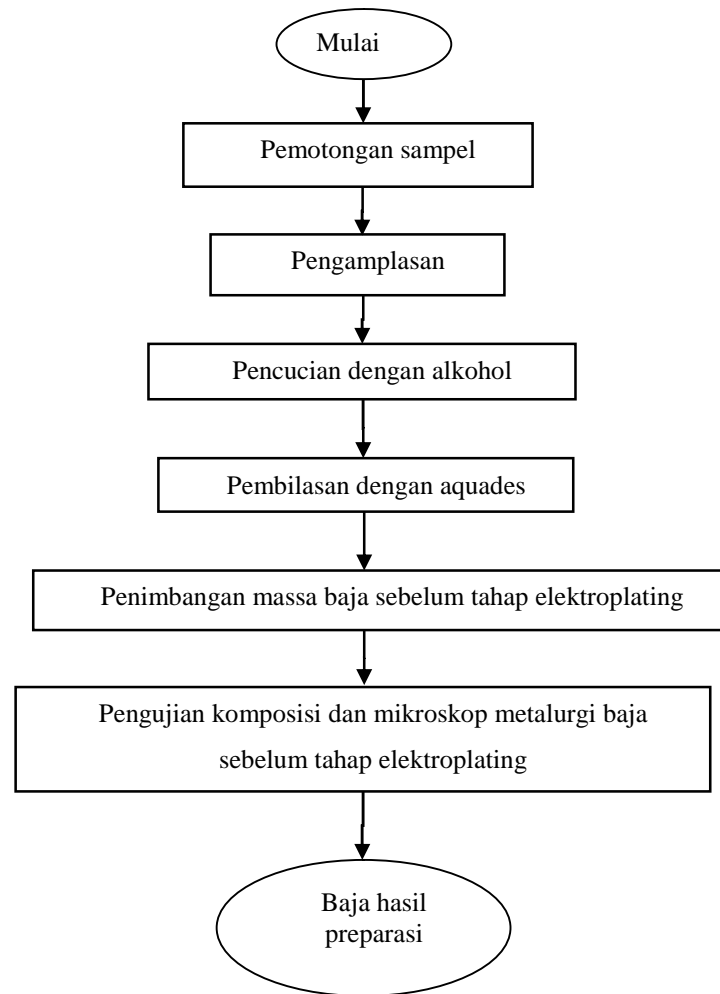
Karakterisasi mikroskop metalurgi ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro permukaan sampel sebelum dan setelah elektroplating, serta sebelum dan setelah uji korosi.

3.3.4.3 Karakterisasi XRD

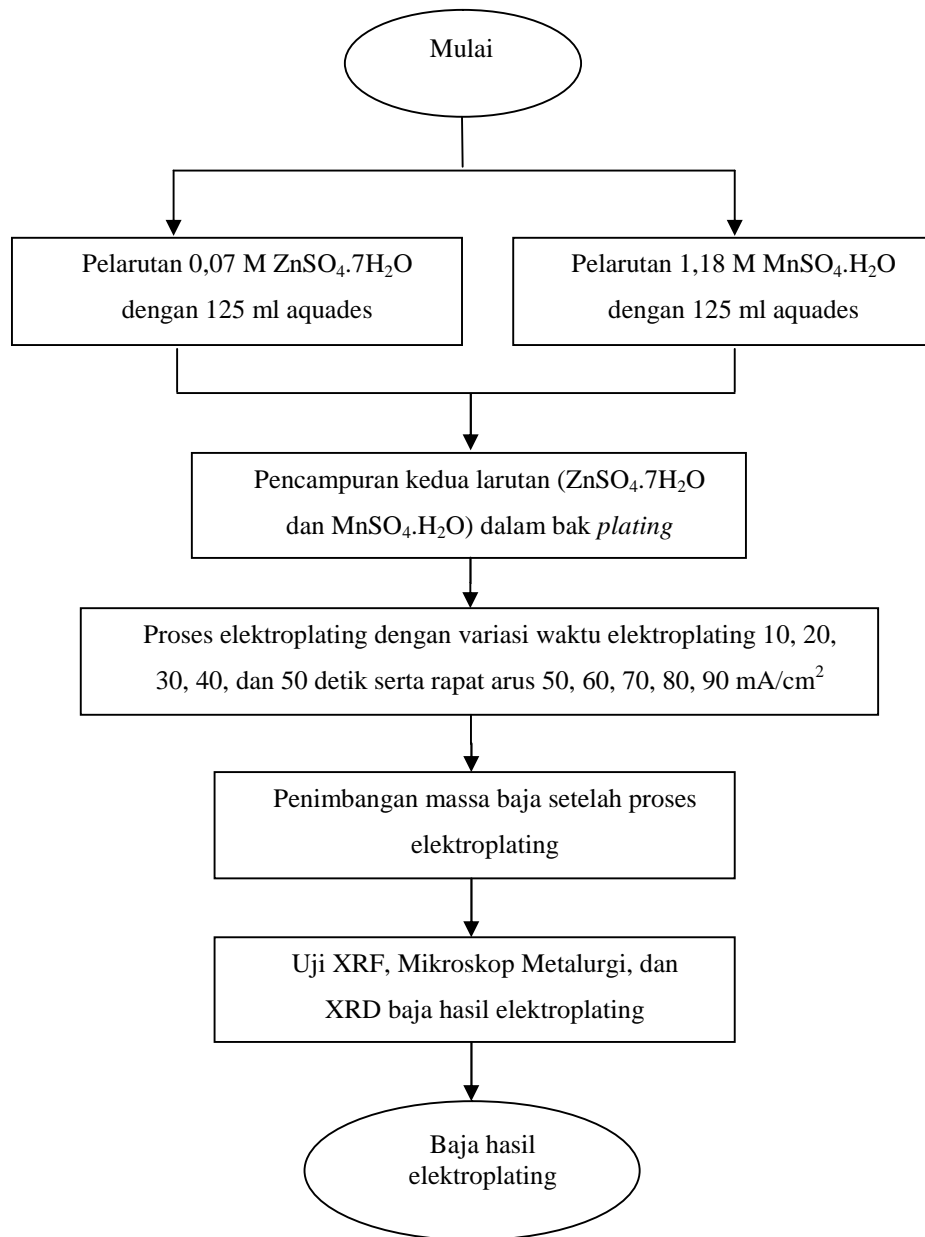
Pengujian sampel dengan menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui struktur fasa dari bahan atau sampel. Sebelum dilakukan pengujian struktur fasa, sampel diletakkan di atas prepat dan kemudian dilakukan pengujian dengan menggunakan XRD.

3.4 Diagram Alir

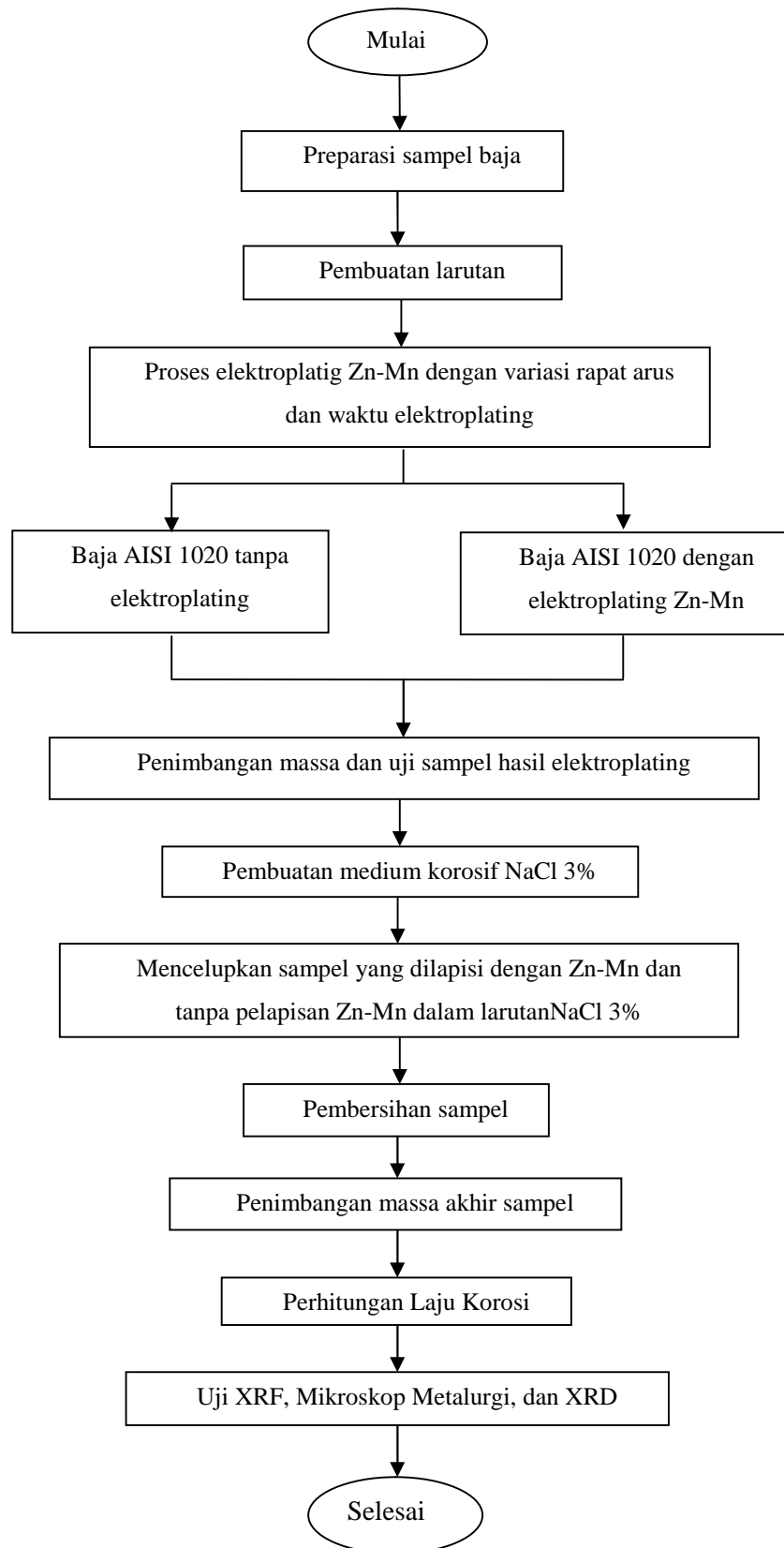
Diagram alir pada penelitian ini meliputi diagram alir preparasi baja, diagram alir pembuatan larutan elektrolit dan proses elektroplating, serta diagram alir penentuan laju korosi, yang ditunjukkan secara berturut-turut pada Gambar 6, 7, dan 8 berikut ini:



Gambar 6. Diagram alir penelitian preparasi baja.



Gambar 7. Diagram alir pembuatan larutan elektrolit dan proses elektroplating.



Gambar 8. Diagram alir penentuan laju korosi

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Semakin besarnya rapat arus dan waktu yang digunakan pada elektroplating maka laju korosi baja semakin menurun.
2. Pengendapan Zn dan Mn pada katoda semakin meningkat seiring meningkatnya rapat arus dan waktu elektroplating.
3. Laju korosi terendah terdapat pada baja hasil elektroplating pada waktu 50 detik dan rapat arus 100 mA/cm^2 yaitu $0,033 \text{ mm/y}$.
4. Hasil karakterisasi mikroskop metalurgi menunjukkan lapisan yang semakin tebal dan merata seiring bertambahnya rapat arus dan waktu elektroplating.
5. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan fasa yang sama antara baja hasil elektroplating pada waktu 10 detik dan rapat arus 60 mA/cm^2 dengan baja hasil elektroplating pada waktu 50 detik dan rapat arus 100 mA/cm^2 .
6. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan fasa yang terbentuk adalah Fe pada baja setelah uji korosi.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah:

1. Melakukan pengujian dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan EDS untuk melihat mikrostruktur saja dan mengetahui unsur-unsur yang terbentuk secara lebih teliti.
2. Memperbesar wadah atau bak *plating* agar perpindahan ion-ionnya lebih merata.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Brenner. 1963. *Electrodeposition of Alloys* Vol. II. Academic Press. New York.
- Amanto, H dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- ASM Handbook. 1993. *Properties and Selection : Iron Steel and High Performance Alloys*. Metals handbook. Vol 1. pp 249-257 & 329-335.
- Assaf F.H., El Seidy., Abou K., Eisa A. 2015. Electrodeposition and Characterization of Zn-Ni-Mn Alloy from Sulfate Bath. *International Journal of Electrochemical Science*. Vol 10. pp 5465-5478.
- Boshkov, N. 2003. Galvanic Zn-Mn Alloys Electrodeposition, Phase Composition, Corrosion Behaviour and Protective Ability. *Journal Surface and Coatings Technology*. Vol 172. pp 217-226.
- Boucher, A., Ducey, M. and McNeff, N. 2012. Synthesis, Characterization and Electrochemical Performance of $\text{Li}_2\text{FexMn}_{1-x}\text{SiO}_4/\text{C}$ as Cathode Material for Thin-Film Lithium-Ion Batteries. *Journal Material Science and Engineering*. Vol 1. pp 120-127.
- Buko, M., J. Rogan, S. I. Stevanovi, A. Peri-Gruji, and J. B. Bajat. (2011). Initial Corrosion Protection of Zn-Mn Alloys Electrodeposited From Alkaline Solution. *Journal of Corrosion Science*. Vol 53. No 9. pp 2861-2871.
- Close D., Stein N., Allain N., Tidu A., Drynski E., Merklein M., Lallement R. 2016. Electrodeposition, microstructural characterization and anticorrosive properties of Zn-Mn alloy coatings from acidic chloride electrolyte containing 4-hydroxybenzaldehyde and ammonium thiocyanate. *Journal of Surface and Coatings Technology*. Vol. 298. Pp73-82
- Cullity B D. 1978. *Elements of X-Rays Diffraction, Second Edition*. Adison-Wesley Publishing Company Inc. USA.
- Davis, Troxell, dan Hauck. 1982. *The Testing of Engineering Materials* Edisi 4. Mc Graw Hill. New York.

- Diaz, P A. 2009. Electrodeposition and Characterization of Zn-Mn Alloy Coating Obtained from a Chloride-based Acidic Bath Containing Ammonium Thiocyanate as an Additive. *Journal of Surface and Coating Technology*. Vol 203. pp 1167-1175.
- El-Giar , E, M., Said, R.A., Bridge, G.E., Thomson, D.J. 2000. Localized Electrochemical Deposition of Copper Microstructure. *Journal of the Electrochemical Society*. Vol. 147. No. 2. Pp 586-591.
- Fontana, Mars. 1987. *Corrosion Engineering 3rd Edition*. McGraw-Hill Book Company. Singapore.
- G.S. Das, dan A.S Kharma. 2004. *Parametric Study of CO₂/H₂S Corrosion of Carbon Steel Used for Pipeline Application*. Indian Institute of Technology Bombay. India
- Ganesan, S, Ganesan P, and Branko N P. 2014. Electrodeposition and Characterization of Zn - Mn Coatings for Corrosion Protection. *Journal of Surface & Coatings Technology*. Vol 238. pp 143-151.
- Glatzel, T. 2013. *X-Ray Diffraction*. Universitat Basel. Raum.
- Gong, Jie., Zangari, Giovanni. 2002. Electrodeposition and Characterization of Manganese Coating. *Journal of Electrochemical Society*. Vol 149. pp 209-217.
- Gong, Jie., Zangari, Giovanni., Wei, Guohua., Barnard, John A. 2005. Electrodeposition of Manganese Alloys of Sacrificial Copper-Manganese Alloy Coating. *Journal of Metallurgical and Materials Transaction*. Vol 1. No. 13. pp 2704-2715.
- Gong, Jie., Zangari, Giovanni. 2006. Electrodeposition of Manganese Alloys for Sacrificial Protection of Steel. *Journal of ECS Transactions*. Vol 1. No.13. pp 97-106.
- Hou, Xiandeng., He, Yihua., and Jones T, Bradley. 2004. Recent Advances in Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry. *Applied Spectroscopy Review*. Vol 39. No 1. Pp 1-25.
- Irwanto. 2010. *Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Pemerata Arus terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda pada Elektroplating Tembaga Asam untuk Baja Karbon Sedang*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Prevention of Corrosion*, Maxwell. Macmillan. Singapura. pp 572-580.
- Kirk., Othmer. 1979. *Encyclopedia of Chemical Technology 3rd Edition Volume 6*. Willey. Newyork.

- Kriswarini R., Anggraini D., Djameludin A. 2010. Validasi Metoda XRF (X-Ray Fluorescence) secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn, dan Fe dalam Paduan Aluminium. *Seminar Nasional VI*. ISSN 1978-0176. Batan. Tangerang.
- Mulyanti. 1996. *Pengaruh Kadar Mangan (Mn) dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Baja Mangan Austenit*. Universitas Indonesia. Jakarta. Hal 75-78.
- Ortiz, Z.I. 2009. Characterization of the Corrosion Product of Electrideposited Zn, Zn-Co, and Zn-Mn Alloys Coating. *Journal of Corrosion Science*. Vol. 51. Pp 2703-2755.
- Paridawati. 2013. Analisa Besar Pengaruh Tegangan Listrik Terhadap Ketebalan Pelapisan Chrome pada Plat Baja dengan Proses Elektroplating. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol 1. No 1. Hal 36-44.
- Piere, R. R. 2008. *Corrosion Engineering-Principles and Practice*. TheMcGraw-Hill Companies Inc. USA.
- Potts J, Philip and Webb C, Peter. 1992. X-Ray Fluorescence Spectrometry. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 44. Pp 251-296.
- Purwanto, dan Syamsul H. 2005., *Teknologi Industri Elektroplating*. Semarang : Universitas Diponegoro
- Putra W S, I Putu. 2005. *Pengaruh Kuat Arus Listrik dan Waktu Pelapisan terhadap Ketebalan Pelapisan Nikel pada Tembaga*. Skripsi. Univerditas Udayana. Denpasar.
- Qulub. 2011. *Scanning Electron Microscope dan Energi Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS)*. <http://www.Munawirulq.blogspot.com/2011/031>. Diakses tanggal 25 Januari 2017.
- Roberge, P. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. MbGraw-Hill Book Company. Singapore.
- Sartono, A. A. 2006. Difraksi Sinar-X (XRD). *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Silberberg. 2000. *The Molecular Nature of Matter and Change*. Mc.Graw. New York.
- Sulaiman, A. 1978. Korosi Laut, Lingkungan dan Pengaruhnya terhadap Korosi. *Seminar Nasional Elektrokimia*. Publitbang LIPI. Serpong Tangerang. Hal 34.
- Supardi, R. 1997. *Korosi Edisi Pertama*. Tarsito, Bandung. Hal 89-93.

- Supriadi, H. 2010. Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Variasi Rapat Arus pada Hard Chrome Electroplating Terhadap Karakterisasi Permukaan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Mechanical*. Vol 1. Hal 1.
- Supriyanto. 2007. *Pengaruh Konsentrasi Larutan NaCl 2% dan 3,5% Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Trethewey, K. R. and Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Widhyastuti, Y., Novita M., dan R. Maharini. 2009. *X-Ray Diffractometer (XRD)*. Universitas Sebelas Maret. Solo.
- Wirjosumarto, H dan Okumura, T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Yerikho, Raharjo W.P., Kusharjanta Bambang. 2013. Optimalisasi Variasi Tegangan dan Waktu terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan pada Plat Baja karbon Rendah dengan Proses *Electroplating* Menggunakan Pelapis Seng. *Jurnal Mekanika*. Vol 11.No 2. Hal 62-68.