



**TUGAS AKHIR- TL 141584**

**PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI  
ZnSO<sub>4</sub> TERHADAP KETEBALAN, SIFAT  
ADHESIF DAN KETAHANAN KOROSI PADA  
BAJA ASTM A 213 T11 DENGAN METODE  
ELEKTROPLATING**

MUHYIDIN AM  
NRP 2712 100 146

Dosen Pembimbing  
Dr. Agung Purniawan S.T. M.Eng  
Wikan Jatimurti S.T. M.Sc

**Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Institut Teknologi Sepuluh November  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT – TL 141584**

**EFFECTS OF ADDITION OF CONCENTRATION  $ZnSO_4$  ON ZINC COATING THICKNESS, ADHESSION PROPERTIES AND CORROSION RESISTANCE ON STEEL ASTM A 213 T11 WITH ELECTROPLATING METHOD**

MUHYIDIN AM  
NRP 2712 100 146

Advisor :  
Dr. Agung Purniawan S.T M.Eng  
Wikan Jatimurti S.T. M.Sc

**Department Of Material And Metallurgical Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

**PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI  
ZnSO<sub>4</sub> TERHADAP KETEBALAN, SIFAT  
ADHESIF DAN KETAHANAN KOROSI PADA  
BAJA ASTM A 213 T11 DENGAN METODE  
ELEKTROPLATING**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Material Dan Metalurgi Pada  
Bidang Studi Korosi Dan Kegagalan Material  
Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MUHYIDIN AM**  
NRP 2712 100 146

Disetujui Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Agung Purniawan S.T, M.Eng .....(Pembimbing I)  
Wikan Jatimurti S.T., M.Sc .....(Pembimbing II)



**PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI ZnSO<sub>4</sub>  
TERHADAP KETEBALAN, SIFAT ADHESIF DAN  
KETAHANAN KOROSI PADA BAJA ASTM A213 T11  
DENGAN METODE ELEKTROPLATING**

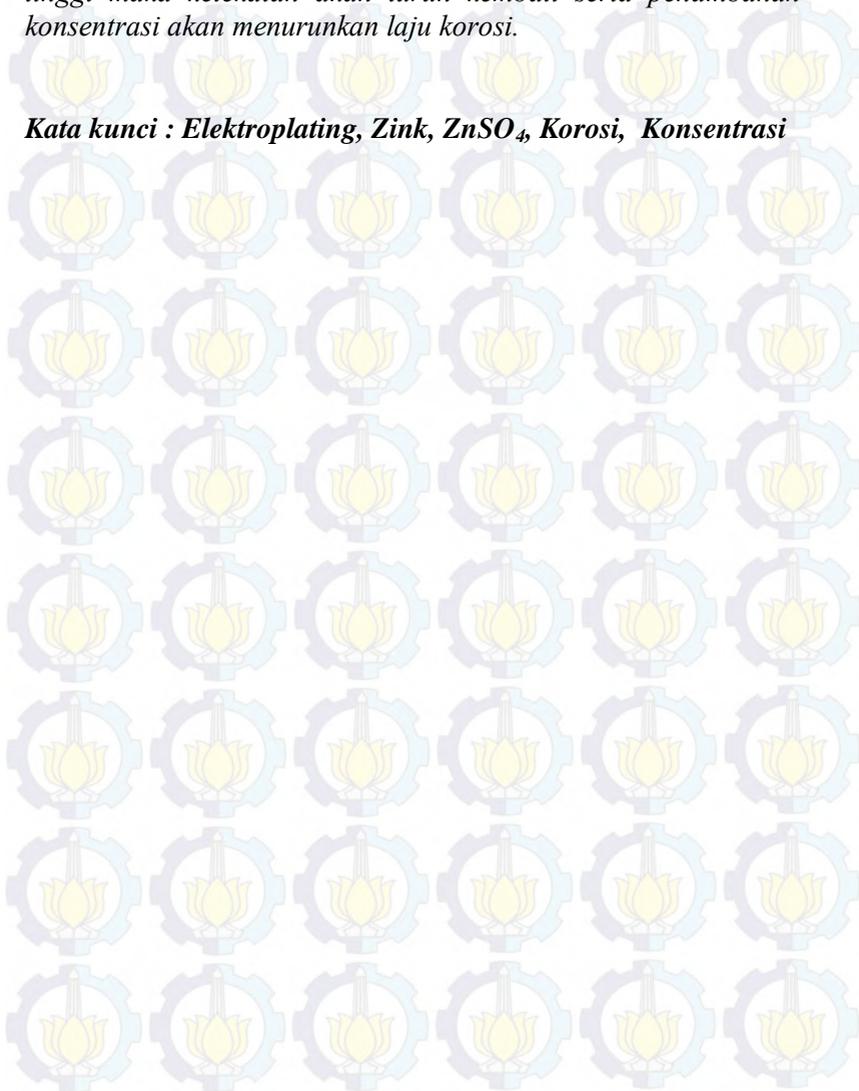
**Nama Mahasiswa** : Muhyidin A.M.  
**NRP** : 2712 100 146  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi FTI-  
**ITS**  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Agung Purniawan, S.T, M.eng  
Wikan Jatimurti S.T, M.Sc

**Abstrak**

*Elektroplating pada dunia industri banyak dimanfaatkan untuk melapisi benda kerja. Metode ini dilakukan untuk meningkatkan nilai estetika dan perlindungan terhadap ancaman lingkungan yang menyebabkan korosi. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi ZnSO<sub>4</sub> ( 5%; 10%; 15%; 20%) terhadap ketebalan lapisan, sifat adhesive lapisan dan ketahanan lapisan hasil elektroplating terhadap korosi. Penelitian ini menggunakan larutan elektrolit ZnSO<sub>4</sub> sebagai media elektrolit dan juga sekaligus sebagai sumber logam zink yang akan melapisi logam. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode elektroplating yaitu dengan menempatkan logam lain pada permukaan logam induk yang akan dilindungi dengan ditambahkan bahan kimia dan bantuan arus listrik. Pengujian ketebalan di uji dengan alat DFT (Dry Film Thickness), pengujian sifat adhesive dengan menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester, pengujian laju korosi dengan weight lose dan untuk melihat struktur permukaan menggunakan SEM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi ZnSO<sub>4</sub> akan menaikkan ketebalan lapisan coating dan penambahan konsentasri juga akan menaikkan nilai kelekatan maksimum pada*

*konsentrasi 15%, akan tetapi jika konsentrasi dinaikan semakin tinggi maka kelekatan akan turun kembali serta penambahan konsentrasi akan menurunkan laju korosi.*

***Kata kunci : Elektroplating, Zink, ZnSO<sub>4</sub>, Korosi, Konsentrasi***



**EFFECTS OF ADDITION OF CONCENTRATION  
ZnSO<sub>4</sub> ON ZINC COATING THICKNESS,  
ADHESSION PROPERTIES AND CORROSION  
RESISTANCE ON STEEL ASTM A 213 T11 WITH  
ELECTROPLATING METHOD**

**Student name: Muhyidin AM**

**NRP : 2712 100 146**

**Dapartemen : Materials And Metalurgical Engineering  
FTI-ITS**

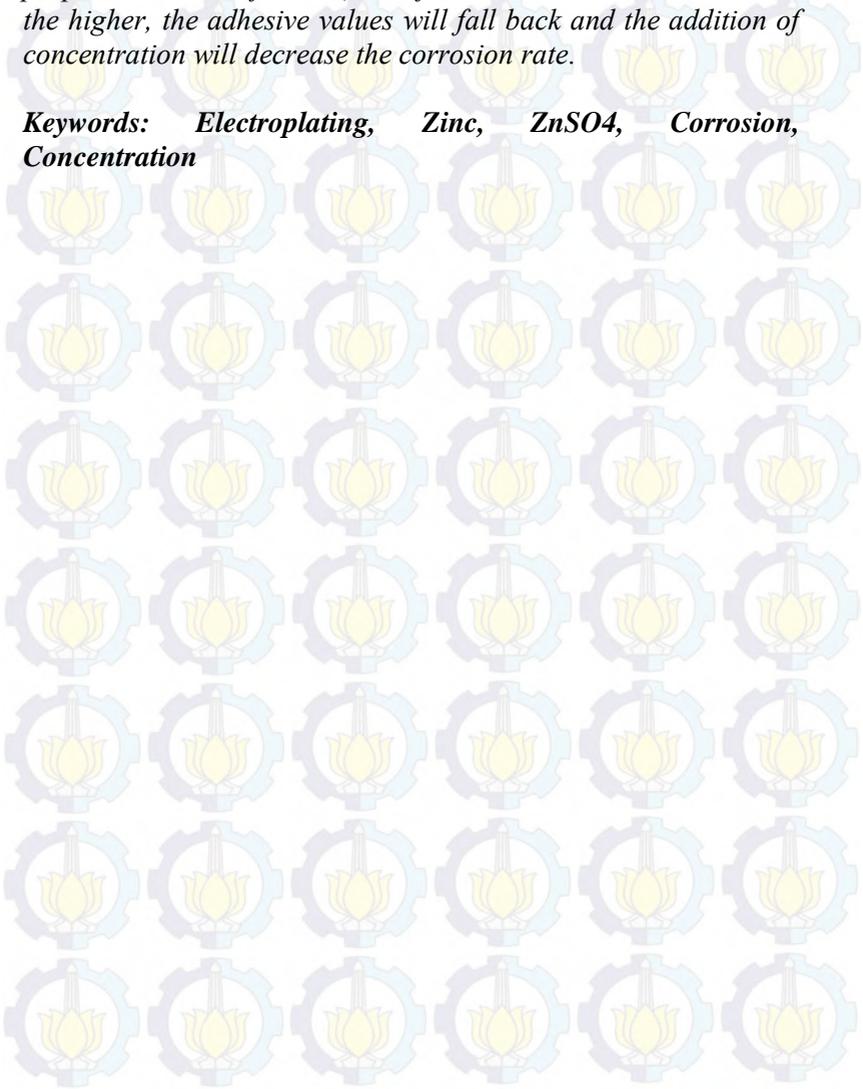
**Advisor : Dr. Agung Purniawan S.T. M.Eng  
Wikan jatimurti S.T. M.Sc**

**Abstract**

*Electroplating in the industrial is being used to coat the surface of workpiece. This method is used to enhance the aesthetic value and protection of environmental threats that cause the corrosion. Therefore, this research to determine the effect of the addition of concentration ZnSO<sub>4</sub> ( 5%; 10%; 15%; 20%) on coating thickness, adhesive properties and the corrosion resistance of the layer coating from electroplating. This research used ZnSO<sub>4</sub> solution as electrolyte medium and also as a source of zinc metal that will coat to the surface of metal. The method used in this research is the electroplating method with placing zinc metal at another metal surface to be protected with the added chemicals and an electric current. Thickness testing with DFT (Dry Film Thickness), adhesive properties testing by using PosiTest AT-M Adhesion Tester, corrosion resistance testing with weight lose method and to observe the surface structure using scanning electron microscope. The result sof the test showed that the addition of ZnSO<sub>4</sub> concentration will increase the thickness of the coating layer and and the addition of concentration also*

*increase the value of and maximum value of adhesive properties at 15% of  $ZnSO_4$ , but if the concentration is increased the higher, the adhesive values will fall back and the addition of concentration will decrease the corrosion rate.*

**Keywords:** *Electroplating, Zinc,  $ZnSO_4$ , Corrosion, Concentration*



## KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirohim

Alhamdulillah Hirobbil'alamin

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

**“PENGARUH PENAMBAHAN KONSENTRASI  $ZNSO_4$  TERHADAP KETEBALAN, SIFAT ADHESIVE DAN KETAHANAN KOROSI TERHADAP BAJA ASTM A213 T11 DENGAN METODE ELEKTROPLATING”**

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, tugas akhir ini tidak akan berjalan dengan baik. Oleh karena itu penulis ingin berterimakasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dorongan hingga tugas akhir ini selesai.

1. ALLAH SWT yang telah memberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
2. Keluarga penulis yang telah memberikan dorongan, bantuan serta doa sehingga terselesaikanya tugas ahir ini.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan S.T. M.Eng selaku pembimbing dan ketua jurusan yang selalu membimbing dan memberikan motivasi, ilmu serta wawasan kepada penulis.
4. Bapak wikan Jatimurti S.T. M.Sc selaku pembimbing kedua yang selalu memberikan dorongan dan ilmunya untuk selesainya tugas akhir ini
5. Teman-teman satu kontarakan yang berjuang bersama dan saling suport serta saling membantu satu sam lain

6. Serta semua pihak yang ikut membantu baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Penulis

(Muhyidin AM)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batas Masalah .....	4
1.4 Tujuan Masalah .....	
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Teknologi Pelapisan .....	7
2.2 Elektroplating .....	8
2.2.1 Elektrolisis .....	9
2.2.2 Plating Pada Baja Dengan Proses Terus Menerus .....	11
2.2.3 Zink Plating .....	12
2.2.4 Logam Zink .....	13
2.2.4.1 Penggunaan logam Zink .....	14
2.2.4.2 Sifat-Sifat Logam Zink .....	19
2.2.5 Serbuk Zink Sulfat ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) .....	19
2.3 Baja karbon .....	21
2.3.1 Baja Karbon Rendah .....	21
2.3.2 Baja Karbon Menengah .....	23
2.3.3 Baja Karbon Tinggi .....	23
2.4 Korosi .....	24

2.4.1 Korosi Udara .....	24
2.4.2 Korosi Tanah Dan Lingkungan .....	24
2.4.3 Penilaian Kerusakan Oleh Korosi .....	25
2.5 Hukum Elektrolisis Faraday .....	29

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
3.2 Alat Dan Bahan Percobaan .....	34
2.1.1 Bahan Penelitian .....	34
2.1.2 Peralatan Penelitian .....	36
3.3 Prosedur Penelitain .....	40
3.3.1 Preparasi Spesimen Uji .....	40
3.3.2 Pembuatan Larutan $ZnSO_4$ .....	41
3.3.3 Susunan Rangkaian Elektroplating .....	42
3.4 Proses Elektroplating .....	43
3.5 Pengujian SEM .....	44
3.6 Uji Ketebalan .....	45
3.7 Uji Kelekatan .....	46
3.8 Pengujian Laju Korosi .....	48
3.9 Rencana Penelitian .....	49

### BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

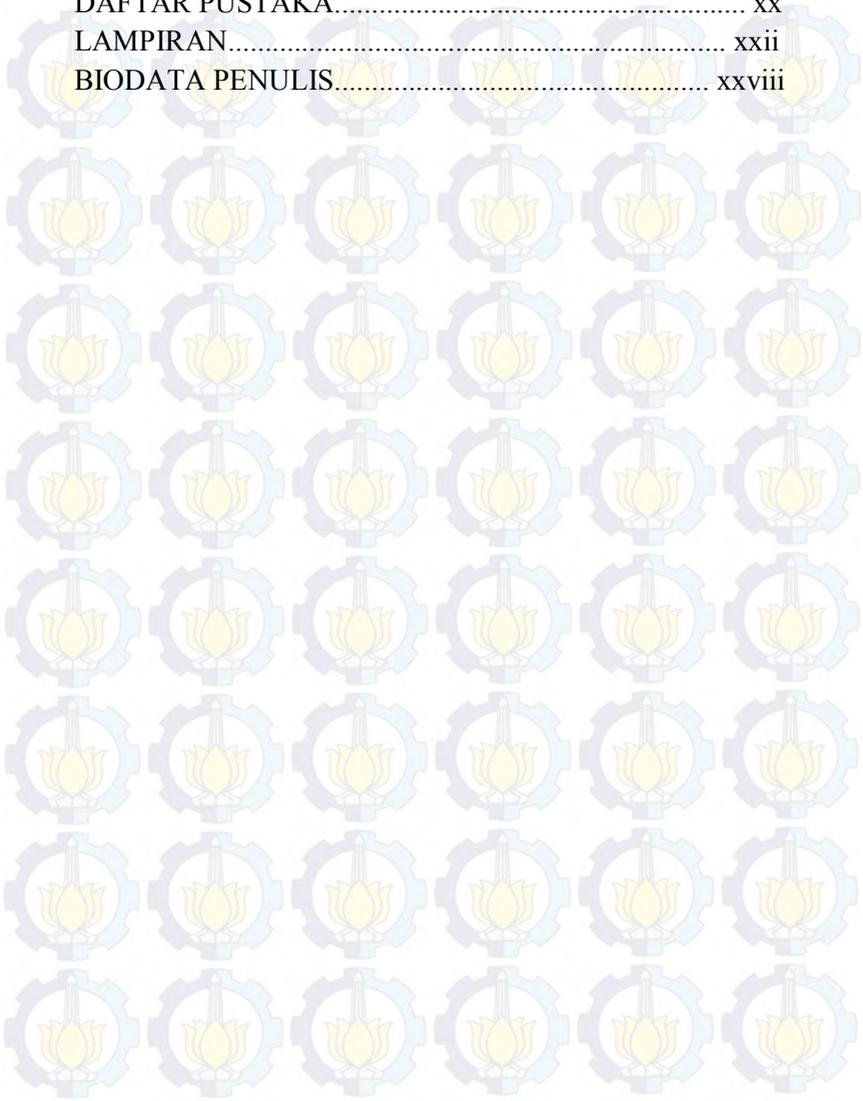
4.1 Pengamatan Makro Dan Mikro Hasil Elektroplating .....	51
4.1.1 Pengamatan Makro Secara Visual .....	51
4.1.2 Pengamatan Secara Mikro .....	53
4.2 Pengukuran Ketebalan Lapisan Coating Hasil Elektroplating .....	56
4.3 Pengujian Nilai Adhesive Lapisan Coating .....	61
4.4 Pengujian Laju Korosi .....	64

**BAB V KESIMPULAN**

**DAFTAR PUSTAKA..... xx**

**LAMPIRAN..... xxii**

**BIODATA PENULIS..... xxviii**



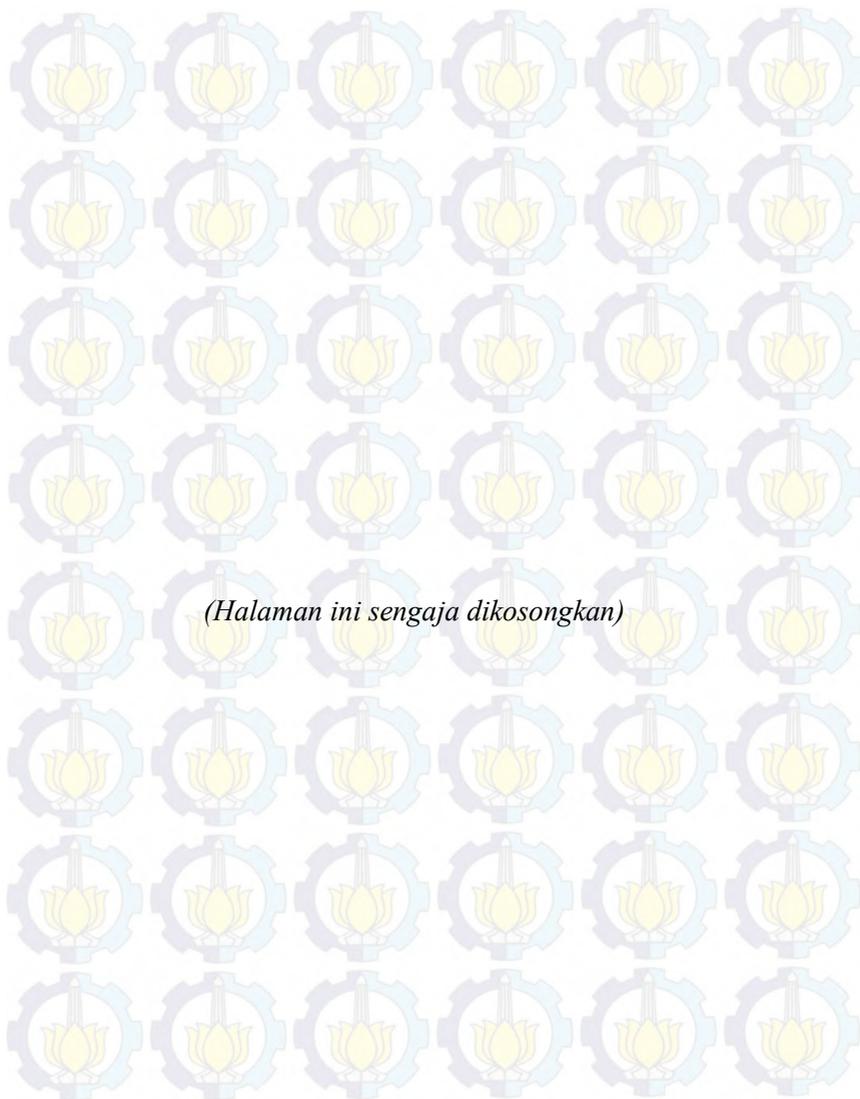
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Elektroplating .....	10
Gambar 2.2 Proses Elektroplating Pada Benda Berdimensi Besar .....	11
Gambar 2.3 Diagram Pourbaix Logam Zn .....	18
Gambar 2.4 Kurva Kelarutan Dengan Temperatur Untuk Zink Sulfat .....	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 3.2 Anoda grafit.....	34
Gambar 3.3 Asam Sulfat.....	35
Gambar 3.4 Natrium Hidroksida.....	35
Gambar 3.5 Serbuk ZnSO <sub>4</sub> .....	36
Gambar 3.6 Alat Elektroplating ( <i>Rectifier</i> ).....	37
Gambar 3.7 Alat Ukur DFT.....	37
Gambar 3.8 Neraca Analitik ( <i>Mettler Toledo</i> ).....	37
Gambar 3.9 Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester.....	38
Gambar 3.10 alat <i>Salt Spray Chamber</i> .....	39
Gambar 3.11 Alat Kompresor.....	39
Gambar 3.12 Alat Uji <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)....	39
Gambar 3.13 Skema Rangkain Elektroplating.....	42
Gambar 4.14 Rangkaian Alat Elektroplating.....	44
Gambar 3.15 Alat Uji Deposit Lapisan Spesimen SEM dengan merk dagang FEI Inspect S50.....	45
Gambar 3.16 Alat Uji Ketebalan <i>Dry Film Thickness (DFT) Elcometer</i> .....	46
Gambar 3.17 Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester.....	47
Gambar 4.1 Spesimen Uji Sebelum Proses Elektroplating.....	51
Gambar 4.2 Spesimen Uji Setelah Proses Elektroplating.....	52
Gambar 4.3 Pengamatan Secara Mikro Dengan Berbagai Pembesaran : (a) Gambar pembesaran 500x, (b) Gambar pembesaran 1000x.....	53
Gambar 4.4 Pengamatan Penampang Melintang (cross section) :	

(a) Gambar ketebalan lapisan deposit, (b) Gambar lapisan deposit.....	55
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Nilai Ketebalan dan Konsentrasi $ZnSO_4$ .....	59
Gambar 4.6 Pengujian Ketebalan Lapisan <i>Coating</i> Seng (Zn) Dengan Menggunakan Alat DFT.....	61
Gambar 4.7 Grafik Nilai Rata-Rata Daya Lekat Untuk Konsentrasi 5%, 10%, 15% Dan 20%.....	63
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Daya Lekat Lapisan <i>Coating</i> .....	64
Gambar 4.9 Pengamatan Visual Spesimen Uji Setelah Dilakukan <i>Salt Spray</i> .....	67
Gambar 4.10 Grafik Laju Reaksi Tiap Konsentrasi.....	70

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Proses coating yang digunakan untuk perlindungan permukaan.....	8
Tabel 2.2 Potensial reduksi baku.....	16
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Pada Baja Feritik .....	23
Tabel 2.4 Overview dari lima kelas korosi sesuai dengan klasifikasi yang diberikan dalam ISO 12944 Bagian 2.....	27
Tabel2.5 Laju korosi diukur dalam $g/m^2$ /tahun untuk baja, tembaga,aluminium dan seng untuk lima kelas yang berbeda korosi menurut ISO 9323.....	28
Tabel 2.6 Nilai Konstanta Untuk setiap satuan unit.....	29
Tabel 3.1 Rencana penelitian .....	49
Tabel 4.1 Ketebalan Lapisan <i>Coating</i> Setiap Konsentrasi.....	57
Tabel 4.2 Nilai Daya Lekat Lapisan Deposit Seng (Zn).....	62
Tabel 4.3 Weight lose selama pengujian.....	68
Tabel 4.4 Laju Korosi pada spesimen uji setelah <i>dicoating</i> .....	69
Tabel 4.5 Laju korosi yang diukur dalam $g /m^2$ /tahun untuk lima kelas yang berbeda.....	70
Tabel4.6 Gambaran dari lima kelas korosi sesuai dengan klasifikasi yang diberikan dalam ISO 12944 Bagian 2.....	71



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri diseluruh dunia meningkat pesat mulai dari industri dengan skala produksi kecil sampai industri dengan skala produksi besar. Seiring dengan perkembangan tersebut, maka tidak bisa dihindarkan pula dengan makin banyaknya masalah yang muncul pada proses produksinya. Salah satu masalah yang sering muncul adalah masalah yang diakibatkan oleh faktor lingkungan. Contohnya industri yang bergerak dibidang pertambangan, masalah lingkungan menjadi fokus utama karena sering berdampak pada peralatan yang digunakan khususnya peralatan yang terbuat dari logam (baja). Baja merupakan paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung paduan unsur lainnya dan ada ribuan paduan yang memiliki komposisi yang berbeda (Calister, 1940). Baja seringkali membutuhkan sentuhan akhir atau *finishing* dengan memberikan lapisan yang akan diterapkan pada permukaan baja untuk tujuan estetika (warna), sifat resistensi, ketahanan terhadap korosi atau memperkuat sifat dari baja (Arthur, 2007).

Pada umumnya, baja karbon rendah digunakan untuk membuat peralatan berbahan logam. Baja karbon rendah atau disebut juga baja ringan memiliki sifat mekanik yang mudah ditempa dan mudah dibentuk sesuai dimensi yang diinginkan, memiliki kurang dari 0,30% unsur karbon. Hal ini sering digunakan untuk produk industri umum seperti baut, mur, lembaran, pelat, tabung, dan pipa. Baja ini memiliki kekuatan dan kemampuan penyerapan energi lebih tinggi dibandingkan dengan baja konvensional yaitu dilihat dari aspek *ductility* (keuletan), *formability* (sifat mampu bentuk), dan *weldability*

---

(mampu las) (Kalpakjian, 2009). Karena sifatnya tersebut, pemanfaatan baja dengan kandungan karbon yang rendah pada bidang pengolahan minyak bumi dan pengolahan logam sangat banyak. Contohnya adalah pada pipa penyalur minyak bumi, bahan konstruksi, *gear* dan lain sebagainya. Pada penggunaannya, logam ini langsung bersentuhan dengan lingkungan yang menyebabkan logam ini memerlukan pengerjaan akhir agar memiliki ketahanan terhadap korosi.

Proses *finishing* pada logam sangat luas dan banyak metodenya salah satunya yang sering digunakan adalah metode elektroplating. Elektroplating adalah suatu metode menempatkan logam lain pada permukaan logam induk yang akan dilindungi dengan ditambahkan bahan kimia. Metode ini sudah banyak berkembang dan banyak digunakan karena proses pengerjaan yang sederhana serta menghasilkan lapisan permukaan logam yang kuat dan tahan lama. Proses ini bisa diaplikasikan untuk pelapisan pipa agar tahan terhadap korosi atau benda-benda yang digunakan pada bagian kendaraan agar lebih kuat dan memiliki tampilan yang lebih baik (Arthur, 2007).

Industri minyak dan gas sering menggunakan pipa baja karbon rendah untuk menyalurkan minyak bumi hasil dari pengeboran. Akan tetapi selalu berurusan dengan korosif pada pipa dikarenakan pengaruh lingkungan dan fluida yang mengalir didalamnya. Sehingga seringkali terjadi kebocoran pada pipa karena adanya korosif. Korosi juga bisa menyebabkan pabrik terhenti, pemborosan sumber daya yang berharga, kehilangan atau kontaminasi produk, penurunan efisiensi, pemeliharaan lebih mahal, dan *overdesign* yang mahal (Pierre, 1999).

Hal tersebut terjadi karena korosi merupakan fenomena yang kompleks, dengan banyak variabel yang terlibat. Reaksi kimia yang melibatkan hampir setiap

---

elemen yang ada dan paling banyak berlangsung di tanah (Pierre, 1999), Oleh karena itu salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan elektroplating (pelapisan) dengan menggunakan logam seng (Zn).

Seng (Zn) adalah salah satu logam yang banyak digunakan untuk melapisi permukaan logam lain (Baja karbon rendah). Logam seng (Zn) akan membentuk lapisan oksida pada permukaan logam yang tahan terhadap korosi sehingga akan melindungi logam yang ada didalamnya. Bahkan dalam bentuk paduan seng bertindak sebagai elektroda korban, yang berarti bahwa mereka menimbulkan korosi istimewa, melindungi baja dari korosi. Jika paduan memiliki kandungan seng (Zn) yang cukup tinggi bisa memiliki potensi lebih negatif dari baja dan lebih stabil dibandingkan dengan lapisan seng (Zn) murni (Bajat, 2003).

Dengan adanya lapisan seng (Zn) pada permukaan pipa akan mengurangi tingkat korosi pada pipa sehingga umur pipa akan lebih lama. Hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan adanya proteksi pada baja yang dilapisi dan fenomena proteksi pada pelapisan oleh seng terjadi bahkan setelah konsumsi lapisan seng baja tidak segera terkorosi dibandingkan baja tanpa dilapisi seng (Hosking, 2007).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas maka dirumuskan suatu masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi seng (Zn) terhadap ketebalan lapisan *coating*?
  2. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi seng (Zn) terhadap sifat Adhesif lapisan *coating*?
-

3. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi seng (Zn) terhadap ketahanan korosi baja karbon rendah dengan metode elektroplating?

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk mengetahui penelitian yang baik dan lebih terfokus, maka ditentukan batasan masalah antara lain :

1. Pengaruh lingkungan terhadap proses elektroplating diabaikan
2. Larutan elektrolit dianggap homogen
3. Temperatur proses dianggap konstan

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh penambahan konsentrasi seng (Zn) terhadap ketebalan lapisan *coating*
2. Menganalisa pengaruh penambahan konsentrasi seng (Zn) terhadap sifat adhesif lapisan *coating*
3. Menganalisa pengaruh penambahan konsentrasi seng (Zn) terhadap ketahanan korosi pada baja karbon rendah

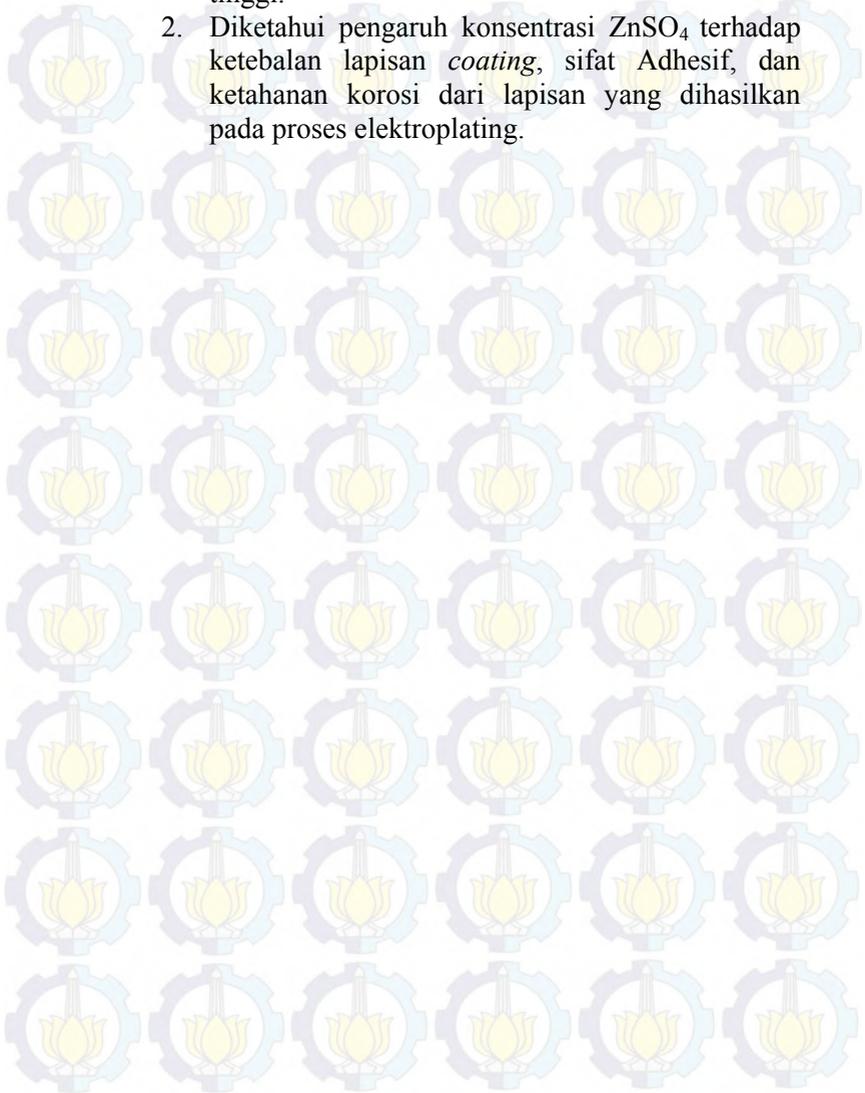
### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan manfaat dalam hal pelapisan logam dengan metode elektroplating, antara lain:

1. Larutan elektrolit dalam bentuk  $ZnSO_4$  dapat digunakan sebagai bahan alternatif dalam elektroplating dengan kadar seng (Zn) yang rendah sehingga dalam melakukan pelapisan tidak harus
-

menggunakan seng (Zn) dengan kadar yang tinggi.

2. Diketahui pengaruh konsentrasi  $ZnSO_4$  terhadap ketebalan lapisan *coating*, sifat Adhesif, dan ketahanan korosi dari lapisan yang dihasilkan pada proses elektroplating.





*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Teknologi Pelapisan

Teknologi pelapisan atau yang lebih dikenal sebagai *coating* adalah teknik pelapisan suatu materia pada permukaanya. Aplikasi dari *coating* organik, inorganik atau metalik hanya melindungi benda dari serangan lingkungan pada bagian permukaan saja, sehingga memperpanjang waktu pakai, tetapi *coating* tidak hanya melindungi permukaan benda saja melainkan keseluruhan komponen benda. Implikasinya, dengan menggunakan material yang sedikit lebih murah, digabungkan dengan penghematan energi, akan menghasilkan konsekuensi ekonomi yang cukup baik dan penghematan dalam hal teknologi pelapisan permukaan. Proses *coating* yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 mengilustrasikan keberagaman proses *coating* yang tersedia secara komersial dan dapat digunakan untuk melindungi permukaan benda sehingga dapat memperpanjang waktu pakai dari suatu komponen atau peralatan.

Apapun teknik *coating* yang digunakan, hampir selalu dibutuhkan proses awal atau *pretreatment* dan pembersihan permukaan yang sesuai untuk memaksimalkan kinerja hasil *coating*. (Kanani,2005) . Beberapa proses *coating* dapat dilihat di Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Proses *coating* yang digunakan untuk perlindungan permukaan (Kanani, 2005)

<i>Process</i>	<i>Process variant</i>
<i>Evaporation</i>	<i>Chemical vapour deposition (CVD)</i>
	<i>Physical vapour deposition (PCV)</i>
	<i>Sputtering</i>
<i>Hot metal process</i>	<i>Weld-surface</i>
	<i>Hot-dip galvanizing</i>
	<i>Roll-coating</i>
<i>Painting</i>	<i>Application of inorganic coatings</i>
	<i>Application of organic coating</i>
	<i>Application of low-friction coatings</i>
<i>Thermal spraying</i>	<i>Atmospheric-pressure plasma spraying</i>
	<i>Low-pressure plasma spraying</i>
	<i>Flame spraying</i>
<i>Metallizing</i>	<i>Electroless metal coatings</i>
	<i>Electroplated metal coatings</i>

## 2.2 Elektroplating

Elektroplating adalah proses pelapisan suatu logam dengan logam lain dengan cara elektrolisis. Elektroplating bertujuan untuk melindungi logam yang mudah rusak karena pengaruh udara (korosi) atau lingkungan dengan logam yang lebih tahan. Prinsip dari proses elektroplating yaitu yang bertindak sebagai katoda menggunakan logam yang akan dilapisi (Suwinardi, 1994) atau benda kerja yang akan dilapisi merupakan katoda (kutubnegatif). Sementara anoda dapat menjadi salah satu dari dua tipe yaitu anoda korban (anoda dapat larut) dan anoda permanen (anoda inert). Anoda korban terbuat dari logam yang dapat didepositkan sedangkan anoda permanen hanya dapat menjadi pelengkap pada sirkuit elektrik, tapi tidak dapat bertindak sebagai logam baru yang merupakan sumber logam pengganti dari larutan yang akan dipindahkan oleh proses deposisi pada katoda. Biasanya elektroda yang sering digunakan sebagai anoda inert adalah

---

Platina dan karbon.

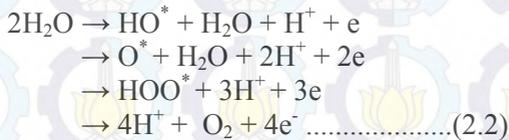
Elektrolit merupakan konduktor elektrik yang membawa arus listrik dengan ion, bukan dengan elektron bebas (seperti pada logam). Pada aplikasinya, ion positif pada elektrolit akan bergerak menuju katoda dan ion negatif akan bergerak menuju anoda. Perpindahan ion melalui elektrolit ini akan menegakkan arus listrik pada bagian sirkuit listrik tersebut. Perpindahan elektron menuju anoda melalui kabel dan sebuah generator listrik, dan kemudian kembali lagi menuju katoda yang akan menegakkan arus listrik dalam sirkuit internal. Ion logam dari garam dalam elektrolit membawa muatan positif dan akan tertarik ke arah katoda. Saat muatan tersebut mencapai bagian benda kerja yang bermuatan negatif, benda kerja akan menyediakan elektron untuk mereduksi muatan positif menjadi berbentuk metalik, dan kemudian atom logam akan didepositkan ke permukaan benda kerja yang bermuatan negatif. (Huang, 2006).

### 2.2.1 Elektrolisis

Sel plating sederhana menggambarkan apa yang terjadi selama proses elektroplating. Dalam kasus proses electrogalvanizing (EG), yang bertindak sebagai anoda adalah seng, katoda adalah baja dan elektrolit seng sulfat (proses yang sama menggunakan seng klorida). Daya listrik disediakan oleh sumber DC. Arus listrik didalam larutan elektrolit dialirkan dengan memindahkan ion, akan tetapi jika pada logam dengan mengalirkan elektron. Oleh karena itu reaksi kimia harus terjadi pada setiap bagian dimana arus listrik masuk ke logam menuju elektrolit atau elektrolit menuju logam. Secara umum mekanisme yang terjadi pada proses elektroplating adalah sebagai berikut. Tahap pertama adalah dekomposisi dari air seperti pada persamaan reaksi 2.1



Pada anoda terjadi rekasi oksidasi yang menghasilkan elektron. Kemudian elektron tersebut dialirkan menuju katoda melalui rangkaian elektrolisis. Jika anoda yang digunakan adalah anoda inert dan ada aliran arus menuju anoda maka reaksi yang terjadi adalah reaksi oksidasi (dekomposisi) air dimana air diubah menjadi ion oksigen untuk menjaga keseimbangan listrik sehingga akan terbentuk gas oksigen. Reaksi yang terjadi seperti persamaan reaksi 2.2



Pada katoda terjadi konsumsi elektron yang berasal dari anoda sehingga pada katoda terjadi reaksi reduksi. Reaksi reduksi yang terjadi adalah dari ion hidrogen, seperti persamaan reaksi 2.3

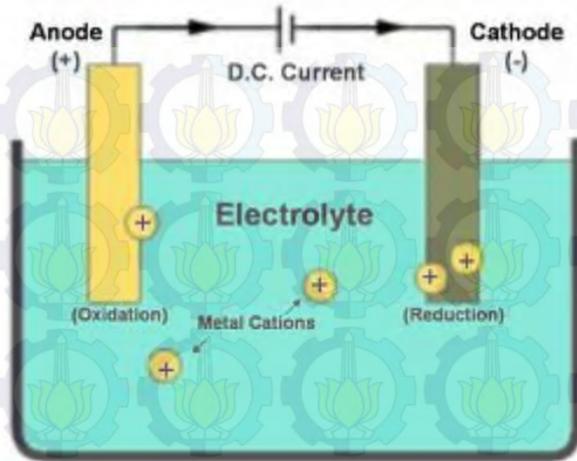


Kemudian kation yang didalam larutan elektrolit akan bergerak menuju katoda yang banyak mengandung elektron dan bereaksi membentuk logam yang serta menempel pada permukaan katoda.



(S. Szabo, 2006)

Proses elektrolisis pada proses elektropalting dapat dilihat pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Skema Elektroplating (Frederick, 1978)

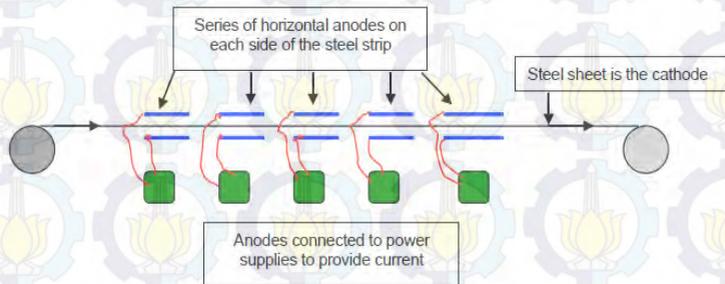
Secara fisik proses elektroplating mengandung empat bagian :

1. Sirkuit eksternal, terdiri dari sebuah sumber arus searah (DC), akan menyalurkan arus listrik menuju tangki plating, dan menghubungkan beberapa instrumen seperti amperemeter, voltmeter dan berfungsi untuk mengatur voltase dan arus
2. Elektroda negatif atau katoda, merupakan material yang akan diplating disebut benda kerja. Benda kerja diposisikan dalam larutan plating sehingga kontak langsung dengan sumber arus
3. Larutan plating, hampir selalu dalam bentuk cairan yang disebut "*platers bath*"
4. Elektroda positif biasanya merupakan logam yang telah di plating tetapi terkadang berasal dari material konduktif yang berperan hanya melengkapi sirkuit listrik, disebut inert atau anoda tak terlarut.

Larutan plating ditempatkan pada tangki plating, tangki tersebut harus berupa material yang sesuai dengan larutan yang berada di dalamnya. Terkadang berupa baja lunak untuk larutan alkalin, dan baja-baja yang memiliki resistansi terhadap larutan asam. Selain dengan baja, dapat juga digunakan karet, berbagai variasi palstik atau bahkan gelas atau timah. (Frederick, 1978)

### 2.2.2 Plating Pada Baja Dengan Proses Terus Menerus

Penggunaan operasi plating ini dapat diperluas ke plating baja dengan lembaran selebar 1.800 mm [71 inch] secara terus menerus pada kecepatan tinggi. Dapat dibayangkan serangkaian sel seperti pada Gambar 2.2 dapat dilakukan terhadap benda kerja yang jauh lebih besar secara selaras dan berturut-turut. Pada proses ini masing-masing anoda atau katoda dihubungkan ke sumber listrik. Dan ditambah gulungan dan motor yang diperlukan untuk mengangkut lembar antara anoda dan katoda yang ditetapkan dalam setiap sel. Proses elektroplating untuk benda kerja dengan ukuran yang besar dapat dilihat pada Gambar 2.2



**Gambar 2.2** Proses elektroplating pada benda berdimensi besar (Yanjerappa, 2002).

---

Ada banyak jenis pengaturan anoda. Beberapa horisontal, vertikal, dan satu proses memanfaatkan sel radial dimana strip melewati diameter gulungan besar di dalam setiap sel plating, dan anoda memiliki desain radial untuk mencocokkan diameter gulungan yang besar terendam ke dalam larutan plating. Setiap jenis pengaturan anoda dan desain memiliki kelebihan dan kekurangan, dengan demikian mudah untuk melihat mengapa produsen yang berbeda menggunakan metode yang berbeda. Masing-masing membutuhkan kontrol yang sangat dekat dari jarak anoda-ke-strip untuk mencapai plating yang efisien, menghindari tempat busur dan cacat lainnya di lapisan (Yanjerappa, 2002).

### **2.2.3 Seng Plating**

Penggunaan lapisan seng pada perlindungan baja dengan mengorbankan lapisan seng akan meningkatkan ketahanan baja dari korosi. Perlindungan dengan pengorbanan ini disebabkan karena seng merupakan logam yang kurang mulia dan perlindungan katodik pada baja berjalan bahkan di tempat sangat kurang baik. Pelapisan dengan seng yang mengandung persenyawaan baik dari sianida, asam atau basa non-sianida. Karena polusi dan biaya tinggi yang berkaitan dengan sianida, maka dapat digunakan seng dengan persenyawaan lainya seperti sulfat, klorida, dan campuran rendaman sulfat-klorida yang sekarang makin banyak diguanakn. Deposisi yang baik tergantung pada sifat dari konstituen rendaman. (Yanjerappa, 2002)

Pelapisan baja dengan seng dianggap sebagai metode yang efektif untuk perlindungan terhadap adanya korosi udara. Seng melindungi baja melalui mekanisme kontrol katodik dan lapisan bertindak sebagai penghalang antara baja dan lingkungan. Baru-baru ini, proses elektroplating seng telah dikembangkan dengan penambahan ion logam untuk seng. Baja yang dilapisi seng dengan metode elektroplating memiliki ketahanan korosi

---

---

yang lebih baik dari baja yang dilapisi seng dengan metode ditempel saja (metode tradisional). Seperti proses pelapisan logam lainnya, proses elektroplating dipengaruhi oleh parameter plating seperti kepadatan arus, plating waktu, temperatur, dan komposisi dari bahan yang akan dijadikan sebagai pelapis (elektrolit) (Hosny, 1995)

Umumnya, larutan rendaman untuk plating mengandung garam, agen *buering*, agen pengompleks dan ion logam. Di antaranya zat-zat pengompleks yang aktif akan mempengaruhi proses pengendapan, sifat larutan dan struktur deposit. pergerakan agen pengompleksan ini sangat spesifik dan tergantung pada pH, sifat anion, temperatur dan bahan-bahan lain dari media larutan. Beberapa penambahan dari agen ini bertujuan sebagai permukaan aktif dan perubahan karakteristik sifat antarmuka logam. bentuk kompleks dengan ion logam dan teradsorpsi pada permukaan katoda. Sebagian besar agen memiliki kelompok fungsional elektroaktif (Yanjerappa, 2002).

Kelebihan dari metode elektroplating diantaranya adalah menghasilkan ketebalan yang merata, ukuran butiran yang halus sehingga bebas dari porositas (Trethewey, 1991).

#### 2.2.4 Logam Seng

Seng logam ( $A_r$  65,38) merupakan logam yang berwarna putih-kebiruan. Logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150 °C. Seng melebur pada temperatur 425 °C dan mendidih pada 906 °C (Setiono, 1990)

Seng adalah unsur yang tergolong kedalam golongan II B pada sistem periodik. Keberadaan seng termasuk sangat jarang, dan menjadi urutan ke dua puluh lima dalam urutan kelimpahan di lithospher. Seng kurang melimpah daripada unsur yang kurang terkenal seperti zirkonium, vanadium, dan stronsium. Tetapi lebih banyak jika dibandingkan dengan tembaga.

Seng sudah terkenal sejak lama dalam bentuk paduan kuningan tembaga-seng. Seng biasanya ditemukan di alam sebagai sulfida, dan merupakan bijin paling penting sebagai seng sulfida

---

---

(ZnS) yang dikenal sebagai spalerit atau *zinc blende* (simpler blenda) yang berdasarkan pada bentuk kristalnya. Bijih oksida juga diperlukan seperti seng karbonat dan franklinite (campuran dari seng-mangan-besi oksida). Seng merupakan unsur yang diperlukan untuk kehidupan tumbuhan dan hewan, dan kekurangan seng akan menyebabkan banyak penyakit pada hewan dan tumbuhan. Dan merupakan unsur penting yang diperlukan enzim untuk proses metabolisme.

Bijih seng ditambang dari seluruh dunia. Total produksi di dunia (kandungan seng dalam bijih) sekitar 5,5 juta ton. Beberapa negara mengolah bijih seng, dan sebagian diekspor keberbagai pengolahan di dunia.

Setelah jadi konsentrat, bijih dipanggang menjadi oksida, produksi dalam jumlah yang besar dari oksida sulfur akan menimbulkan masalah pencemaran yang diolah dengan cara dilarutkan sehingga menghasilkan sulfur atau asam sulfat. Adanya oksigen akan dikurangi dengan karbon (biasanya karbon monoksida) pada logam seng atau dilarutkan dalam asam sulfat untuk membentuk seng sulfat, yang mana dielektrolisis dengan anoda inert timbal atau timbal- paduan perak 1% untuk memproduksi seng pada katoda dan regenerasi asam sulfat yang digunakan untuk melarutkan lebih banyak bijih yang sudah dipanggang (Hosking, 2007).

#### **2.2.4.1 Penggunaan Logam Seng**

Penggunaan seng secara luas adalah pada produksi pengecoran paduan seng (*zinc alloy die casting*). Aplikasi ini digunakan sekitar 41% dari konsumsi seng di amerika serikat. *Zick casting* diperlukan untuk elektroplating karena kandungan yang tinggi dari seng. Dilain tempat seng digunakan untuk galvanizing baja. Aplikasi ini sekitar 38% digunakan untuk memproduksi baja plating dari seng. Jumlah terbesar galvanizing di dicapai dengan metode hot dipping (pencelupan), tetapi sebagian kecil elektro-galvanis dan pentingnya metode elektrolisis diharapkan dapat meningkat. Kuningan (paduan

---

tembaga-seng) digunakan sekitar 12% dari produksi seng, sehingga tiga aplikasi ini di antaranya mencapai lebih dari 90% dari semua penggunaan zinc (Frederick, 1978). Pada bidang otomotif pelapisan seng atau galvanizing pada baja secara terus menerus menjadi bahan konstruksi yang utama untuk badan kendaraan yang diproduksi secara massal. Ada pengembangan dalam industri otomotif untuk pindah ke lapisan seng alternatif yang menawarkan peningkatan ketahanan korosi tanpa meningkatkan ketebalan lapisan. ketebalan (sampai dengan 75  $\mu\text{m}$ ) pelapisan logam yang menarik karena dapat mengurangi kesulitan pengolahan seperti *spalling* dari lapisan selama pembentukan dan pembentukan kuningan di tempat elektroda las. Pelapis dengan ketahanan korosi lebih unggul dibandingkan dengan baja galvanis dapat menghilangkan kebutuhan untuk perlindungan tambahan di daerah korosi yang sensitif seperti bagian tertutup dan celah-celah antara panel (Hosking, 2007).

Lapisan seng dikenal sebagai pelapis yang memiliki karakteristik ketahanan yang sangat baik terhadap adanya korosi, tetapi bukan untuk keperluan dekoratif (Protsenko, 2010). Hal ini dikarenakan logam seng memiliki nilai potensial sel yang lebih negatif dibanding dengan logam lainya seperti chrom, tembaga, nikel, dan yang lainnya. Nilai potensial sel dari logam seng dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Potensial reduksi baku (Trethewey, 1991)

pasangan	$E^{\circ} / V$
$F_2(g) + 2e^{-} \rightarrow 2F^{-}(aq)$	+2.87
$H_2O_2(aq) + 2H^{+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow 2H_2O(l)$	+1.77
$Ce^{4+}(aq) + e^{-} \rightarrow Ce^{3+}(aq)$	+1.72
$MnO_2^{-}(aq) + 8H^{+}(aq) + 5e^{-} \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$	+1.51
$Cl_2(g) + 2e^{-} \rightarrow 2Cl^{-}(aq)$	+1.36
$O_2(g) + 4H^{+}(aq) + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O(l)$	+1.23
$Br_2(l) + 2e^{-} \rightarrow 2Br^{-}(aq)$	+1.09
$Fe^{3+}(aq) + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+0.77
$AgCl(s) + e^{-} \rightarrow Ag(s) + Cl^{-}(aq)$	+0.22
$Cu^{2+}(aq) + e^{-} \rightarrow Cu^{+}(aq)$	+0.15
$2H^{+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow H_2(g)$	0
$Sn^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow Sn(s)$	-0.14
$Fe^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow Fe(s)$	-0.45
$Zn^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow Zn(s)$	-0.76
$Al^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightarrow Al(s)$	-1.66
$Mg^{2+}(aq) + 2e^{-} \rightarrow Mg(s)$	-2.37
$Na^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow Na(s)$	-2.71
$Li^{+}(aq) + e^{-} \rightarrow Li(s)$	-3.04

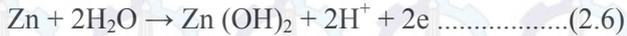
Lapisan logam seng yang digunakan sebagai pelapis ini sering dikenal sebagai lapisan deposit seng, dimana lapisan deposit sangat penting sebagai lapisan pasif (*passive layer*) yang bertindak sebagai pelindung dari lingkungan yang berupa air dan udara (Alia, 2011).

Reaksi dari logam Seng serta pembentukan lapisan pasif dari logam Seng dengan kondisi lingkungan (Air dan Udara) sebagai berikut :

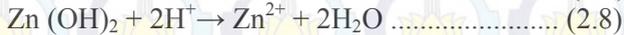
a. Reaksi biasa



b. Pembentukan seng hidroksida yng tak dapat larut



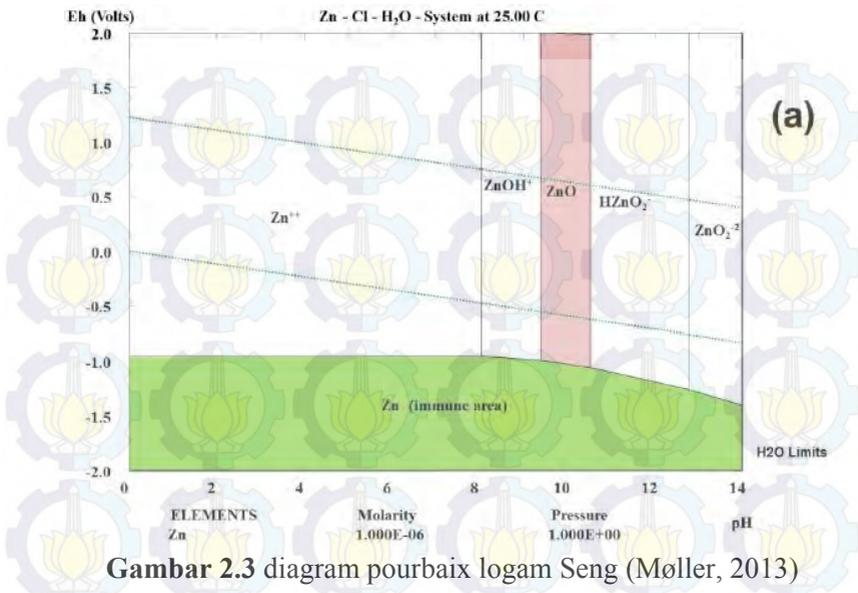
c. Pembentukan ion *zincate* yang larut dalam air



d. Pembentukan ion *zincate* dari seng hidroksida



Pada umumnya sulit untuk mengevaluasi laju korosi permukaan yang dilapisi oleh logam seng yang terkena atmosfer dan temperatur yang berbeda. Bahkan hal ini lebih sulit untuk dipelajari secara langsung daya tahan lapisan logam seng. Akan tetapi lapisan Seng mempunyai tingkat ketahanan yang baik dibandingkan dengan logam lainnya. Lapisan pasif dari logam Seng dapat dilihat dari Gambar 2.3 diagram pourbaix logam Seng



Gambar 2.3 diagram pourbaix logam Seng (Møller, 2013)

Selain menggunakan langsung dari unsur seng, untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dapat juga dipakai paduan seng. Secara umum seng alloy bisa meningkatkan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik, tetapi memiliki kelemahan yaitu pelaksanaan elektrolisis yang rumit. Oleh karena itu pengembangan untuk lapisan baru dan sederhana serta murah masih merupakan masalah yang terjadi pada elektroplating.

Pada lapisan *coating* agar memiliki ketahanan terhadap korosi lebih baik bisa juga menggunakan metode multi layer. Dengan menggunakan beberapa logam sebagai pelindungnya. Dan dari beberapa logam yang bisa membentuk multi layer adalah antara logam seng dan logam crom dengan memberikan batas antara kedua logam tersebut. (Protsenko, 2010)

---

#### 2.2.4.2 Sifat-Sifat Logam Seng

Karena seng logam yang lembut dan cukup ulet, jarang digunakan untuk sifat fisik dalam elektroplating. sifat mekanik dari pelapisan oleh seng belum pernah diteliti dan tidak terlalu penting untuk elektroplating. Seng berwarna putih kebiruan ketika baru patah. Seng sama kerasnya dengan tembaga ketika dalam keadaan murni dan adanya pengotor akan menaikan kekerasa. Seng dipasaran sangat getas karena digulung dalam keadaan temperatur ruang. Tetapi pada temperatur 100-150 °C dapat digulung menjadi lembaran atau untuk kawat. Seng dengan kemurnian yang tinggi bersifat getas pada temperatur ruang.

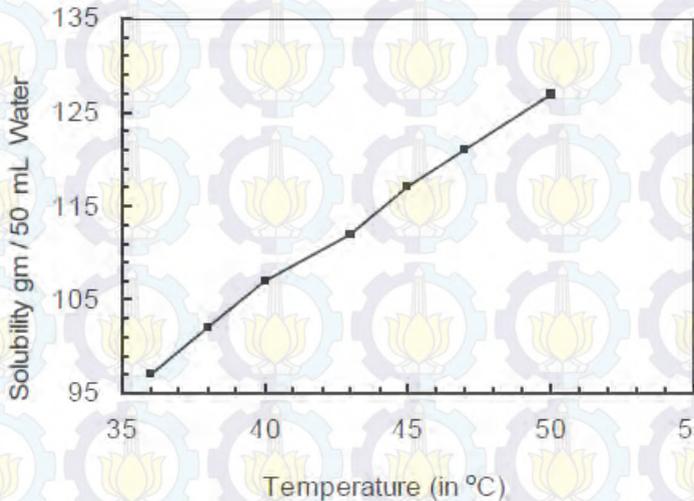
Pada temperatur ruang, udara kering tidak menyerang secara signifikan, tetapi pada 225 °C atau diatasnya kecepatan menyerang seng naik secara cepat. Kelembaban uadara menyebabkan serangan pada temperatur ruang.

#### 2.2.5 Serbuk Seng sulfat ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ )

Seng sulfat ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ), bahan anorganik yang telah mengkristal dengan metode penguapan isothermal.  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  sangat larut dalam air dan kelarutan akan meningkat hampir linear dengan peningkatan temperatur. Pada temperatur kamar sekitar 34 °C, kelarutan ditemukan menjadi 92,41 gm/50 ml. FT-IR spektroskopi yang dilakukan pada kristal seng sulfat murni untuk mengidentifikasi gugus fungsinya. Pertumbuhan kristal telah mengalami bubuk difraksi sinar-X untuk menentukan dimensi sel satuan dan struktur kristal. Parameter kisi yang ditemukan masing-masing,  $a = 9,9810 \text{ \AA}$ ,  $b = 7,2500 \text{ \AA}$  dan  $c = 24,2800 \text{ \AA}$ . Seng sulfat Heptahydrate (ZSHH) memiliki berbagai aplikasi dalam bidang telekomunikasi, sistem tenaga surya untuk penyimpanan energi surya, bak koagulasi untuk rayon dan perangkat optik untuk penyimpanan informasi. Pencarian untuk bahan konversi frekuensi baru, selama dekade terakhir telah menyebabkan banyak penemuan bahan organik dengan kerentanan non linier tinggi.

---

Kristalisasi bahan sulfat heptahidrat seperti seng vitriol ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) kemurnian tinggi telah menjadi bidang penting dari penelitian untuk aplikasi akademik dan industri di berbagai daerah seperti, industri pertanian dan kimia medis. Dan kristal sulfat seng murni ditumbuhkan pada suhu rendah dari larutan air



**Gambar 2.4** Kurva kelarutan dengan temperatur untuk seng sulfat (Podder, 2011)

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  termasuk kedalam anorganik kristal optik non linear. *Zinc vitriol* digunakan untuk memasok seng dalam pupuk, dalam membuat lithoponen, dalam elektrolit untuk pelapisan seng sebagai perlindungan permukaan, sebagai pengawet untuk kulit dan dalam obat sebagai zat muntah.  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  mengkristal dalam struktur ortorombik. Selama kristalisasi industri, ukuran dan bentuk kristal memainkan faktor penting. Sifat fisik seperti kerapatan, aglomerasi dan pemecahan kelarutan terutama tergantung pada bentuk kristal (Podder, 2011).

### 2.3 Baja Karbon

Secara umum ada tiga bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan baja besi dan besi bijih, batu kapur, dan kokas. Meskipun tidak terjadi dalam keadaan bebas di alam, besi adalah salah satu elemen yang paling berlimpah di dunia, naik sekitar 5% dari kerak bumi (dalam bentuk berbagai bijih). Bijih besi yang utama adalah *taconite* (flintlike batu hitam), *vematite* (mineral besi - oksida), dan *limonit* (oksida besi yang mengandung air). Setelah itu ditambah, bijih dihancurkan menjadi partikel halus, kotoran dikeluarkan oleh berbagai cara (seperti pemisahan magnetik), dan bijih dibentuk menjadi pelet, bola, atau briket menggunakan air dan berbagai pengikat. Biasanya, pelet sekitar 65% besi murni dan sekitar 25 mm. Bijih besi terkonsentrasi disebut sebagai *beneficiated* (seperti konsentrat bijih lainnya). Beberapa bijih kaya zat besi yang digunakan secara langsung, tanpa *pelletizing* (Kalpakjian, 2009)

#### 2.3.1 Baja karbon rendah

Baja karbon rendah mengandung kurang dari sekitar 0,25% berat C dan yang tidak responsif terhadap perlakuan panas yang dimaksudkan untuk membentuk martensit. Penguatan pada baja ini dicapai dengan perlakuan dingin. Mikro terdiri dari elemen (fasa) ferit dan perlit. Akibatnya, paduan ini relatif lembut dan lemah. Tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan luar biasa. Disamping itu, baja ini mudah dimesin, mudah dilas, dan dari semua baja yang ada, baja ini adalah yang paling murah untuk diproduksi. Aplikasi yang umum dari baja karbon rendah adalah komponen kerangka mobil, bentuk struktural (balok, saluran dan besi sudut), dan lembaran yang digunakan dalam pipa, bangunan, jembatan, dan kaleng.

Kelompok lain paduan karbon rendah adalah baja paduan kekuatan tinggi (HSLA). Baja ini mengandung unsur-unsur paduan lain seperti tembaga, vanadium, nikel, dan molibdenum di gabungan dengan konsentrasi setinggi 10% berat, dan memiliki

---

---

kekuatan lebih tinggi dari baja karbon rendah biasa. Kebanyakan mungkin diperkuat oleh perlakuan panas memberikan kekuatan tarik lebih dari 480 MPa (70.000 psi). Tetapi sebagai tambahan, baja ini ulet, mudah dibentuk, dan mudah dimesin. Beberapa tercantum dalam Tabel 11.1. dilingkungan udara biasa baja HSLA lebih tahan terhadap korosi dari baja karbon rendah biasa, yang digunakan sebagai pengganti pada bagian dimana kekuatan sangat diperlukan misalnya, jembatan, menara, kolom pendukung di gedung-gedung bertingkat tinggi, dan tekanan pembuluh (Callister, 1994).

Baja karbon rendah yang sering digunakan sebagai pipa pada sistem pipa boiler adalah ASTM A213 grade T11. Spesifikasi dari pipa ini mencakup minimumtebal dinding, baja seamless feritik dan austenitik, boiler dan tabung superheater dan baja austenitik untuk tabung penukar panas (heat exchanger).

Ukuran tabung dan ketebalan biasanya dilengkapi dengan spesifikasi diameter dalam 1/8 inch. [3.2 mm] dan 5 inch. [127 mm] diameter luar dan 0,015-0,500 di. [0,4-12,7 mm], inklusif, di ketebalan dinding minimum. Tubing memiliki dimensi lain seperti tabung lain mematuhi semua persyaratan dari spesifikasi ini. Persyaratan ifat mekanik tidak berlaku untuk tabung lebih kecil dengan diameter dalam 1/8 inch (3.2 mm) atau dengan ketebalan 0.015 inch (0.4 mm). Komposisi baja karbon rendah sesuai ASTM dapat dilihat pada Tabel 2.2

---

Tabel 2.3 Komposisi Kimia Pada Baja Feritik (ASTM A213 T11)

Grade	Composition, %									Other Elements
	Carbon	Manga-nese	Phospho-rus, max	Sul-fur, max	Silicon	Chromium	Molyb-denum	Tita-nium	Vana-dium, min	
T2 <sup>A</sup>	0.10-0.20	0.30-0.61	0.025	0.025	0.10-0.30	0.50-0.81	0.44-0.65	...	...	
T5	0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00-6.00	0.45-0.65	...	...	
T5b	0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	1.00-2.00	4.00-6.00	0.45-0.65	...	...	
T5c	0.12 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00-6.00	0.45-0.65	#	...	
T9	0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.25-1.00	8.00-10.00	0.90-1.10	...	...	
T11	0.05 min-0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50-1.00	1.00-1.50	0.44-0.65	...	...	
T12 <sup>A</sup>	0.05 min-0.15 max	0.30-0.61	0.025	0.025	0.50 max	0.80-1.25	0.44-0.65	...	...	
T17	0.15-0.25	0.30-0.61	0.025	0.025	0.15-0.35	0.80-1.25	...	...	0.15	
T21	0.05 min-0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	2.65-3.35	0.80-1.06	...	...	
T22	0.05 min-0.15 max	0.30-0.60	0.025	0.025	0.50 max	1.90-2.60	0.87-1.13	...	...	
T23	0.04-0.10	0.10-0.60	0.030	0.010	0.50 max	1.90-2.60	0.05-0.30	...	0.20-	W 1.45-1.75

### 2.3.2 Baja Karbon Menengah

Baja karbon menengah memiliki 0.30% sampai 0.60% C. Baja ini secara umum digunakan pada aplikasi yang memerlukan kekuatan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah, seperti pada mesin, bagian peralatan otomotif dan pertanian (gigi, as roda, penghubung batang dan crckshaft), peralatan kereta api, dan suku cadang untuk mesin pengerjaan logam.

### 2.3.3 Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi memiliki lebih dari 0.60% C. Umumnya baja ini digunakan untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi, keras, dan tahan aus seperti alat pemotong, kabel, kawat musik, pegas dan alat pemotong. Setelah diproduksi dan memiliki bentuk, biasanya dilakukan perlakuan panas dan temper. Semakin tinggi kandungan karbon dalam baja, maka semakin tinggi kekerasannya, kekuatan, dan ketahanan aus setelah perlakuan panas (Kalpakjian, 2009)

---

## **2.4 Korosi**

### **2.4.1 Korosi Udara**

Korosi diartikan sebagai gejala yang timbul secara alami dan pengaruhnya terhadap semua zat yang diatur oleh perubahan-perubahan energi. Bahkan korosi sering disebut sebagai karat, yaitu gejala destruktif yang mempengaruhi hampir semua logam bahkan korosi sering diartikan sebagai. Korosi menjadi beban bagi peradaban manusia karena beberapa hal yaitu dari segi biaya korosi itu sangat mahal, korosi sangat memboroskan sumber daya, dan korosi sangat tidak nyaman bagi manusia dan kadang-kadang mendatangkan maut. Banyak faktor yang dapat menimbulkan korosi dan faktor yang paling penting adalah adanya air yang mungkin berasal dari hujan, kabut, atau pengembunan akibat kelembaban relatif yang tinggi.

Selain karena adanya air, faktor yang lain adalah akibat adanya perubahan temperatur. Akibat kenaikan temperatur biasanya diikuti oleh peningkatan laju reaksi. Perubahan temperatur berpengaruh terhadap kelembaban relatif dan terjadi pengembunan. Air hasil pengembunan akan menutupi semua permukaan logam dan sampai permukaan yang tersembunyi. Lapisan-lapisan tipis air ini tidak akan mengalir dan akan tetap di situ sampai menguap. Untuk memulai serangan selapis tipis air yang tidak kelihatan sudah lebih dari cukup. Logam seperti baja akan mengalami korosi jika kelembaban lebih dari 60%. Jika kelembaban lebih dari 8% karat pada besi dan baja akan semakin meningkat (Trethewey, 1991)

### **2.4.2 Korosi Tanah dan Lingkungan**

Korosi dalam tanah merupakan masalah besar, terutama karena banyak infrastrukturnya yang menua. Dengan meningkatnya perlindungan terhadap ancaman yang disebabkan oleh lingkungan, maka berdampak pula terhadap penanganan masalah korosi. Korosi tanah biasanya terkait dengan minyak, gas,

---

danjaringan pipa air. Perlindungan tank penyimpanan, saluran kabel listrik, dan poros pada *casing*. Korosi yang disebabkan tanah merupakan fenomena yang kompleks dengan melibatkan beberapa variabel. Variasi dari sifat tanah dan karakteristik di tiga dimensi memiliki dampak yang besar terhadap korosi pada struktur yang dilindungi ( Pierre, 1999).

Korosi pada baja yang langsung bersentuhan dengan tanah dapat ditentukan dengan konduktivitas, pH, kandungan oksigen, konsentrasi ion agresif dan aktivitas biologis dalam tanah. Sehingga pada baja-baja yang bersentuhan langsung dengan tanah perlu dilakukanya perlindungan yang lebih. Perlindungan yang dilakukan banyak jenisnya tergantung dari kebutuhan sesuai dengan kondisi yang ada. Salah satu perlindungan yang sering dilakukan adalah dengan memberikan lapisan penghambat korosi (*coating*). Pelapisan yangt umum digunakan adalah elektroplating untuk membentuk lapisan metalik (Trethewey, 1991).

#### 2.4.3 Penilaian Kerusakan Oleh Korosi

Dalam rangka mempercepat pengembangan mengenai *coating* dan menyediakan metode uji yang terpercaya dan mampu mengukur kinerja pelapis terhadap ketahanan korosi, maka metode uji korosi perlu dikembangkan. Selain itu juga pemahaman yang lebih mendasar terhadap parameter *coating* dan formulasi memiliki dampak positif pada daya tahan lapisan *coating* yang dikembangkan.Semakin dipercepat dan lebih dapat diaplikasikan, metode pengujian yang diterapkan adalah metode yang lebih menguntungkan pada uji korosi yang dilakukan.Karena hal tersebut sangat penting untuk menjaga waktu pengujian yang dibutuhkan agar sesingkat mungkin. Namun, lebih dipercepat metode pengujian, semakin sedikit perwakilan dari kondisi nyata dari metode pengujian akan dilakukan, karena akan melibatkan kondisi pengujian yang jauh dari kondisi lingkungan yang sebenarnya. Sebuah contoh klasik dari hal ini adalah bahwa hal itu mudah untuk percaya bahwa tes

---

---

korosi dapat dipercepat dengan dilakukan peningkatan konsentrasi salah satu spesies korosi seperti klorida. Namun, dalam banyak kasus, peningkatan konsentrasi klorida mungkin benar-benar mengubah stabilitas permukaan, dan dengan demikian secara signifikan mengurangi ketebalan lapisan pelindung dengan mengubah daerah termodinamika stabil untuk senyawa yang terlibat

Agresivitas korosi atmosfer telah mengakibatkan pengembangan disebut klasifikasi korosi. ISO 9323 adalah standar terkenal dalam bidang klasifikasi korosi. Standar ini didasarkan pada korosi atmosferik untuk lokasi tertentu yang berasal dari data meteorologi seperti waktu basah (yaitu, waktu di mana kelembaban relatif di atas 80%), kategori polusi yang berbeda (yaitu, sulfur dioksida dan konsentrasi klorida udara diukur sebagai tingkat deposisi dalam  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}$ ). Standar ini tidak dimaksudkan untuk digunakan sehubungan dengan atmosfer yang ekstrim seperti yang ditemui di pabrik kimia atau digunakan dalam metode uji dipercepat seperti semprotan garam. Hal ini tidak dimaksudkan untuk digunakan untuk mengevaluasi laju korosi dalam lingkungan yang keras seperti yang ditemui oleh mobil mengemudi di daerah dimana *deicing* digunakan, atau lokasi di mana faktor tambahan membuat evaluasi korosi rumit. Ini termasuk daerah industri dengan dampak  $\text{SO}_2$  tinggi dan konstruksi lepas pantai dimana klorida mungkin memiliki dampak yang sangat tinggi, terutama di tempat-tempat klorida dapat membangun pada permukaan dan melumpuhkan kelembaban. Ini adalah kasus untuk garam seperti  $\text{MgCl}_2$  dan  $\text{CaCl}_2$

Pada Tabel 2 hal menarik untuk dicatat laju korosi yang relatif tinggi untuk baja dibandingkan dengan seng dan aluminium, yang dikenal kurang mulia. Selain itu, logam paling mulia, tembaga, korodes memiliki laju korosi yang hampir sama seperti seng. Hal ini bahkan lebih mengejutkan bahwa setidaknya logam mulia, aluminium, menunjukkan laju korosi terendah dari

---

semua, bahkan di bawah kondisi korosi yang paling parah yaitu kondisi di kelas korosi C5

Tabel 2.4 Overview dari lima kelas korosi sesuai dengan klasifikasi yang diberikan dalam ISO 12944 Bagian 2.

ISO 12944 Classification	Impact	Interior	Exterior
C1	Very low	Heated buildings with clean air, such as offices, shops, schools, hotels, etc.	None
C2	Low	Buildings not heated, where condensation may occur, such as warehouses and sports centers.	Atmosphere with low pollution, such as in the countryside.
C3	Middle	Buildings for production, with high atmospheric humidity and some degree of air pollution, such as food manufacturers, breweries, dairies and laundries.	Urban and industrial areas, moderate sulfur dioxide pollution. Coastal areas with low salt content.
C4	High	Chemical manufacturers, swimming pools and ship and boat yards located by the sea.	Industrial and coastal areas with moderate salt impact.
C5-1	Very high (Industrial)	Buildings or areas with almost permanent condensation and with high pollution.	Industrial areas with high humidity and aggressive atmosphere.
C5-M	Very high (Marine)	Buildings or areas with almost permanent condensation and with high pollution.	Coast and offshore areas with high salt content.

Tabel 2.5 Laju korosi diukur dalam  $g/m^2/tahun$  untuk baja, tembaga, aluminium dan seng untuk lima kelas yang berbeda korosi menurut ISO 9323.

Class	Steel	Copper	Aluminum	Zinc
C1	$CR \leq 10$	$CR \leq 0.9$	Negligible	$CR \leq 0.7$
C2	$10 < CR \leq 200$	$0.9 < CR \leq 5$	$CR \leq 0.6$	$0.7 < CR \leq 5$
C3	$200 < CR \leq 400$	$5 < CR \leq 12$	$0.6 < CR \leq 2$	$5 < CR \leq 15$
C4	$400 < CR \leq 650$	$12 < CR \leq 25$	$2 < CR \leq 5$	$15 < CR \leq 30$
C5	$650 < CR$	$25 < CR$	$5 < CR$	$30 < CR$

(P. Møller, 2013)

Pengujian laju korosi pada spesimen uji yang akan dilihat laju korosinya akibat adanya pengaruh lingkungan dapat dipengaruhi oleh beberapa aspek. Diantaranya adalah total luas permukaan awal dari spesimen dan massa yang hilang selama pengujian yang dilakukan. Rata-rata laju korosi ditetapkan dengan menggunakan persamaan 2.10.

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

K = Konstanta

T = Waktu paparan (Jam)

A = Luas Permukaan ( $cm^2$ )

W = Masa yang hilang (Gram)

D = Denstitas Spesimen ( $g/cm^3$ )

Ada banyak perbedaan satuan yang dapat digunakan untuk menghitung laju korosi tergantung dari satuan yang akan digunakan. Hal tersebut disesuaikan dengan pemakaian nilai konstanta yang sesuai. Nilai konstanta dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Nilai Konstanta Untuk setiap satuan unit (ASTMG103)

<b>Corrothion rate units desired</b>	<b>Constant (K) in Corrosion Rate Equation</b>
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Inches per month (ipm)	$2,87 \times 10^2$
Millimetres per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
Micrometres per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8,76 \times 10^7$
Picometres per year (pm/y)	$2,78 \times 10^6$
Gram per square meter per hour ( $\text{g}/\text{h}^2.\text{h}$ )	$1 \times 10^4 \times D$
Milligram per square decimeter per day (mdd)	$2,40 \times 10^6 \times D$
Microgram per square meter per second ( $\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{s}$ )	$2,78 \times 10^6 \times D$

(ASTM G1-03)

## 2.5 Hukum Elektrolisis Faraday

Ketika arus listrik dibuat untuk melewati sel, arus dapat menyebabkan reaksi kimia yang muncul pada elektroda. Proses ini disebut elektrolisis, dan sel dimana reaksi itu terjadi disebut sel elektrolit. Di tahun 1830-an, ilmuwan Inggris Michael Faraday menunjukkan bahwa reaksi elektrokimia mengikuti semua hubungan normal reaksi stoikiometri kimia tetapi pada waktu tertentu selain mengikuti aturan stoikiometri juga berkaitan dengan arus. Sehingga aturan ini dikenal sebagai hukum elektrolisis Faraday.

Berdasarkan hasil pengamatan faraday :

1. Masa dari pembentukan produk utama dengan elektrolisis di anoda atau katoda berbanding lurus dengan arus yang masuk ( $Q$ )
2. Untuk arus yang diberikan, ratio masa dari produk utama sama dengan ratio kesetimbangan kimia (masa dibagi dengan perubahan valensi)

Hukum empiris elektrolisis Faraday berhubungan dengan jumlah elektron yang diperlukan untuk melepaskan 1 mol unsur. Misalkan bahwa arus yang diperlukan adalah satu elektron per molekul, misalkan dalam kasus dari reaksi elektroplating perak.



Untuk mereduksi satu mol yang diberikan oleh ion metal dengan valensi  $n+$ , dibutuhkan  $n$  mol elektron. Karena itu, total katoda yang digunakan dalam deposisi,  $Q(C)$ , adalah produk dari jumlah mol gram logam yang terdeposisi,  $m$ , jumlah elektron yang ikut tereduksi,  $n$ , bilangan Avogadro,  $Na$  (jumlah atom dalam satu mol), dan energi listrik per elektron,  $Qe(C)$ . jadi, persamaan berikut ini menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk mereduksi  $m$  mol logam :

$$Q = m n Na Qc \dots \dots \dots (2.12)$$

Hasil persamaan di atas adalah konstanta Faraday,  $F$ . Sehingga jumlah mol dari logam yang telah direduksi oleh muatan  $Q$  dapat di cari dengan persamaan :

$$m = \frac{Q}{nF} \dots \dots \dots (2.13)$$

Konstanta Faraday menunjukkan jumlah muatan listrik yang dibawa dalam 1 mol, atau jumlah elektron Avogadro. Konstanta Faraday dapat berasal dari pembagian bilangan Avogadro, atau

angka dari elektron per mol, dengan angka elektron per coulomb. Nilai tertinggi dari bilangan Avogadro diperkirakan sekitar  $6,02 \times 10^{23}$  dan nilai terendah sekitar  $6,24 \times 10^{18}$ . Sehingga

$$F = \frac{6.02 \times 10^{23}}{6.24 \times 10^{18}} = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol} \dots (2.14)$$

Sedangkan muatan total yang digunakan dalam deposisi dapat dicari sebagai produk dari arus,  $I(A)$ , dan waktu deposisi,  $t(sec)$ , jika arus deposisi dipertahankan konstan. Atau jika arus bervariasi selama proses deposisi, dapat dicari dengan :

$$Q = \int I dt \dots (2.15)$$

Berat deposit,  $W(g)$ , dapat dicari dengan mengalikan mol logam yang tereduksi dengan berat atomik,  $M_w$ , dari logam yang terdeposit dapat dicari dengan persamaan :

$$W = \frac{M_w}{nF} \int I dt \dots (2.16)$$

Secara ideal ketebalan deposisi,  $\delta$  (cm) dapat dicari dengan persamaan :

$$\delta = \frac{w}{\rho A} = \frac{M_w}{nF \rho A} \int I dt \dots (2.17)$$

Di mana  $\rho$  adalah densitas logam ( $g/cm^3$ ) dan  $A$  adalah luas area deposisi ( $cm^2$ ). (Huang, 2006)

Untuk menentukan logam yang terdepositasi dengan arus dan waktu dapat ditentukan :

$$1 \text{ Faraday} = \text{ampere detik} / 96500 \dots (2.18)$$

Langkah selanjutnya adalah mengalihkan bilangan Faraday dengan bilangan gram yang diendapkan oleh arus listrik sebesar 1 Faraday yaitu:

$$G = (I \times t) / 96500 \times (Ar/Mr) / \text{Valensi}$$


---

---

G = berat logam yang terdeposisi (gram)

I = rapat arus (ampere)

T = waktu (detik)

Ar/Mr = massa atom / molekul relatif

Untuk menentukan tebal pelapisan yang terjadi perlu diketahui berat jenis dari logam yang terlapis pada katoda. Hubungan berat jenis dengan harga-harga yang lainnya adalah sebagai berikut :

Volume (cc) = berat endapan (gram) / berat jenis.....(2.20)

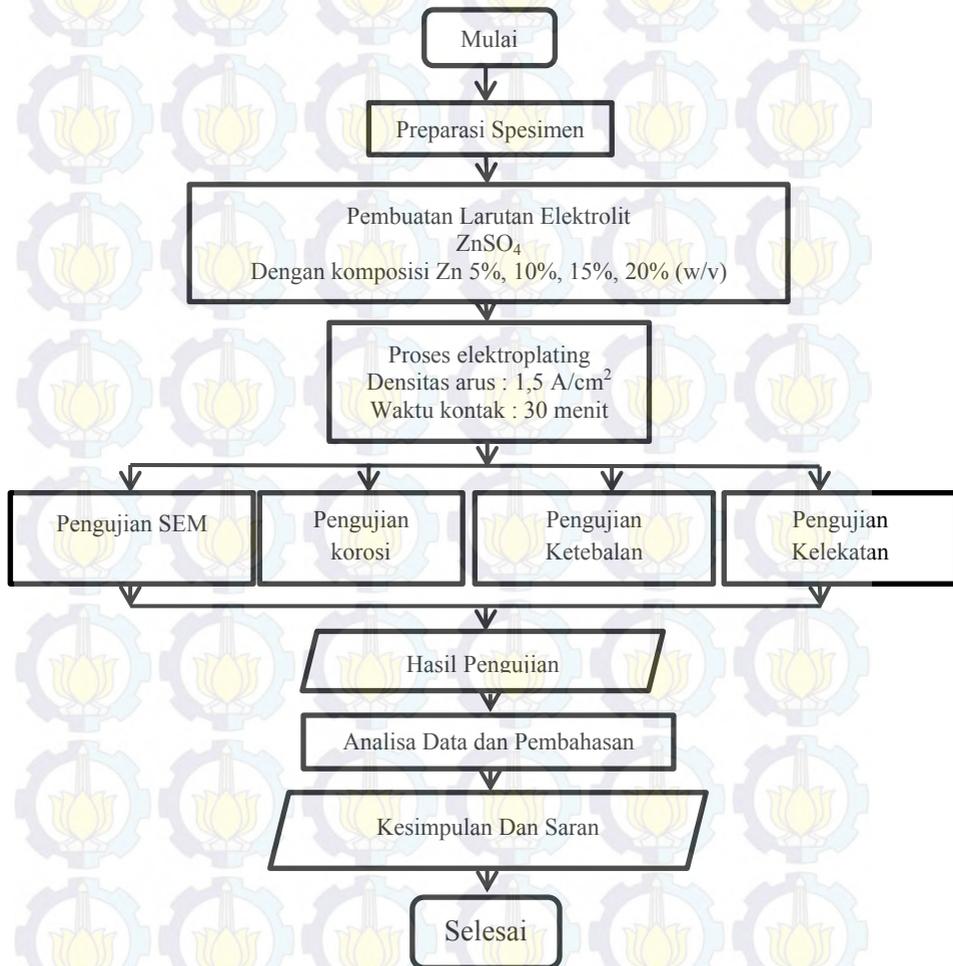
(Huang, 2006)

---



**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir Penelitian**



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

---

## 3.2 Alat dan Bahan Percobaan

### 3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang diperlukan dalam melakukan percobaan ini antara lain sebagai berikut :

1. Baja karbon rendah ASTM A213 grade T11 (sebagai katoda)

Baja ini digunakan sebagai spesimen uji yang akan dilapisi oleh logam seng pada proses elektroplating. Gambar spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 4.2

2. Grafit

Grafit digunakan sebagai anoda inert pada rangkaian elektroplating



**Gambar 3.2** Anoda grafit

3. Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ) 5M

Asam sulfat digunakan sebagai penyetabil larutan ketika melarutkan  $ZnSO_4$  kedalam aquades.

---



**Gambar 3.3** Asam Sulfat

4. Natrium Hidroksida 5 M (NaOH)

Bahan ini digunakan untuk membersihkan spesimen uji dari kotoran yang menempel pada permukaan spesimen uji khususnya pengotor berupa minyak.

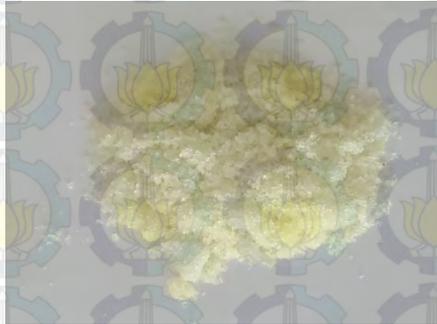


**Gambar 3.4** Natrium Hidroksida

---

## 5. Seng Sulfat ( $ZnSO_4$ )

Bahan ini digunakan sebagai bahan baku pelapis pada penelitian ini yaitu sebagai sumber dari logam seng yang akan didepositkan kepermukaan spesimen uji.



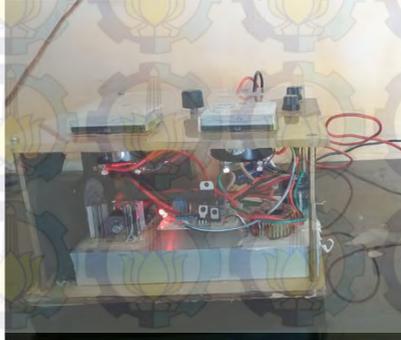
**Gambar 3.5** Serbuk  $ZnSO_4$

### 3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Alat elektroplating (*Rectifier*)

Digunakan sebagai sumber arus pada proses elektroplating



**Gambar 3.6** Alat Elektroplating (*Rectifier*)

---

2. Alat uji ketebalan

Digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan *coating* logam seng pada permukaan spesimen uji.



**Gambar 3.7** Alat Ukur DFT

3. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)

Digunakan untuk menimbang  $\text{NaCl}$  serbuk,  $\text{ZnSO}_4$  serbuk dan perubahan berat baja sebelum dan sesudah proses *salt spray* pada pengujian laju korosi.



**Gambar 3.8** Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)

---

## 4. Alat uji kelekatan

Digunakan untuk mengukur daya lekat lapisan *coating* terhadap permukaan spesimen uji.



**Gambar 3.9** Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M  
Adhesion Tester

5. Alat *Salt Spray Chamber*

Digunakan sebagai tempat isolasi uap air yang mengandung NaCl sebagai larutan korosif pada pengujian laju korosi



**Gambar 3.10** alat *Salt Spray Chamber*

---

6. Kompresor

Digunakan sebagai sumber tekanan yang digunakan pada proses *salt spray* dalam uji laju korosi



**Gambar 3.11** Alat Kompresor

7. Alat uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Digunakan untuk melihat permukaan lapisan setelah *dicoating* dan penampang melintang.



**Gambar 3.12** Alat Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM)

---

---

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Preparasi Spesimen Uji

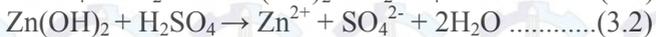
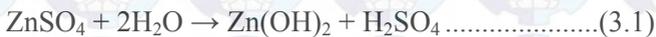
Preparasi awal pada spesimen bertujuan membersihkan spesimen dari pengotor seperti karat, oksida, dan minyak yang melekat pada permukaan sehingga proses elektroplating dapat berlangsung dengan baik serta deposit lapisan hasil elektroplating dapat menempel dengan baik. Preparasi awal pada sampel akan mempengaruhi kualitas hasil dari elektroplating pada spesimen. Semakin baik preparasi awal sampel maka kualitas elektroplating yang melekat permukaan sampel akan semakin baik pula, begitu juga sebaliknya.

Preparasi awal pada spesimen ini dilakukan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut :

1. Meratakan permukaan spesimen dengan menggunakan alat grinda agar spesimen memiliki tingkat kerataan yang sama disetiap titik permukaanya.
  2. Spesimen selanjutnya diampelas dengan menggunakan kertas amplas untuk menghilangkan sisa kerak sekaligus untuk menghaluskan permukaan.
  3. Pembersihan dari hasil proses ampelas dilakukan dengan menggunakan kain sampai spesimen benar-benar bersih dari pengotor.
  4. Membersihkan spesimen dari kotoran minyak atau pengotor lainya yang menempel pada permukaan dengan merendam spesimen uji beberapa saat didalam larutan NaOH 5 M dan setelah direndam langsung, spesimen uji dibersihkan dengan aquades sampai benar-benar bersih.
  5. Spesimen uji yang sudah bersih kemudian dikeringkan.
  6. Spesimen ditimbang beratnya menggunakan neraca analitik.
-

### 3.3.2 Pembuatan Larutan ZnSO<sub>4</sub>

Proses pembuatan larutan elektrolitsengsulfat yaitu dengan menimbang serbuk dari garam seng sulfat (ZnSO<sub>4</sub>) dengan menggunakan timbangan analitik *mettler Toledo* dengan berat yang diinginkan yaitu 5 gram, 10 gram, 15 gram dan 20 gram. Kemudian masing-masing dari hasil timbangan dilarutkan dengan menggunakan aquades sampai volume 50 ml. Agar kondisi lingkungan tetap terjaga maka ditambahkan 5 ml larutan asam sulfat 5 M. Kemudian dilakukan pengadukan sampai asam sulfat yang ditambahkan tercampur dengan baik (homogen) didalam larutan yang dibuat. Sesuai dengan reaksi berikut :



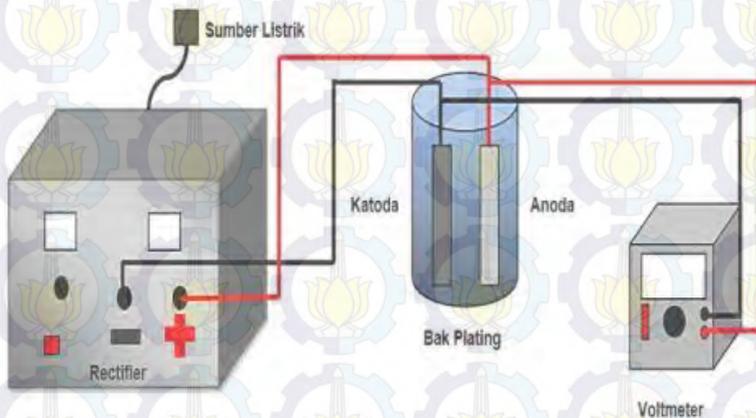
Serbuk seng sulfat harus tercampur dengan homogen atau larut sempurna maka agar terlarut sempurna perlu ditambahkan proses pengadukan baik secara manual dengan bantuan pengaduk dari gelas atau dengan *magnetic stirrer*. Setelah semua garam seng sulfat terlarut dengan sempurna maka volume dari larutan dinaikan dengan penambahan aquades sampai volume mencapai 100 ml. Tahapan terakhir dari proses ini adalah pengadukan agar semua bahan yang tercampur bisa homogen. Proses ini harus dilakukan dengan teliti agar konsentrasi dari larutan seng sulfat (ZnSO<sub>4</sub>) sesuai dengan yang diharapkan. semakin teliti proses yang dilakukan maka hasil yang diperoleh akan semakin baik.

### 3.3.3 Susunan Rangkaian Elektroplating

Rangkain elektroplating tersusun atas 4 komponen yang penting dan harus ada pada setiap proses elektroplating. Bagian pertama adalah *rektifier* yang berfungsi sebagai sumber arus yang akan dialirkan kedalam rangkaian. Bagian kedua adalah anoda inert yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi. Dimana pada anoda inert yang terjadi adalah rekasi

---

oksidasi air. Bagian ketiga adalah katoda yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi, katoda pada penelitian ini menggunakan baja sebagai spesimen uji yang akan dilapisi. Bagian keempat adalah larutan elektrolit yang dijadikan sebagai sumber dari logam yang akan dijadikan sebagai pelapis pada proses elektroplating. Selain itu larutan elektrolit juga sebagai penyalur aliran listrik pada sirkuit aliran pada rangkaian elektroplating. Elektrolit yang digunakan adalah  $ZnSO_4$  dengan elektroda anoda grafit yang bersifat inert. Skema rangkaian elektroplating dapat dilihat pada skema Gambar 3.13



**Gambar 3.13** Skema Rangkain Elektroplating

### 3.4 Proses Electroplating

Proses elektroplating baja dengan menggunakan grafit sebagai anaoda inert dan spesimen uji yaitu baja ASTM A213 T11 yang akan dilapisi sebagai katoda. Proses ini menggunakan densitas dan waktu kontak sebagai variabel tetap sebagai berikut :

1. Densitas arus :  $1,5 \text{ A/cm}^2$
2. Waktu kontak : 30 Menit

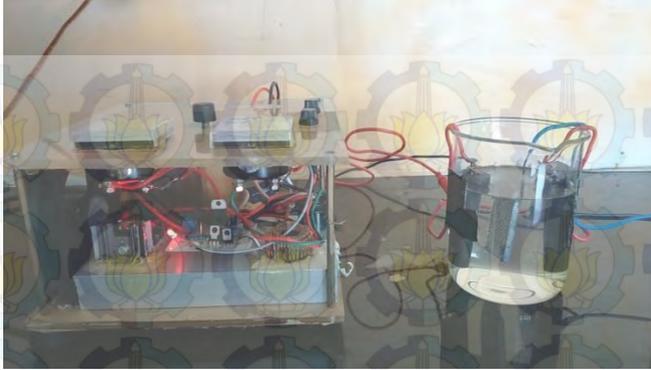
Pada penelitian ini menggunakan anoda grafit sebagai anoda inert karena yang dijadikan variabel berubah yaitu perbedaan konsentrasi larutan elektrolit  $ZnSO_4$ .

Proses elektroplating dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua peralatan dan bahan yang dibutuhkan
2. Merangkai anoda didua sisi dengan jarak yang telah ditentukan pada tempat yang akan digunakan sebagai wadah pada proses elektroplating
3. Menuangkan larutan elektrolit seng sulfat kedalam wadah elektroplating
4. Meletakan spesimen uji tepat ditengah-tengan antar anoda.
5. Menyambungkan kabel positif (bewarna merah) ke anoda dan kabel negatif (warna hitam) ke katoda.
6. Menyalakan alat elektroplating (*Rectifier*) dan mengatur tombol voltase sampai dicapai arus 1,5 A.
7. Membiarkan proses elektroplating berjalan selama 30 menit.
8. Setelah proses plating selesai spesimen uji dimasukan beberapa saat kedalam air sabun untuk menetralkan sisa asam dari larutan elektrolit.
9. Spesimen uji dicuci dengan aquades untuk mmenghilangkan sisa air sabun pada permukaan.

Rangkaian alat elektroplating (*Rectifier*) dapat dilihat pada Gambar 4.14.

---



**Gambar 4.14** Rangkaian Alat Elektroplating

### 3.5 Pengujian SEM

Pengujian menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) dilakukan di laboratorium Karakterisasi Material Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Uji ini untuk mengetahui deposit dari lapisan hasil elektroplating dari  $ZnSO_4$  serta untuk karakterisasi lapisan *coating*, pengujian dilakukan dengan alat uji SEM dengan merek dagang FEI Inspect S50, alat uji tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.15



**Gambar 3.15** Alat SEM dengan merk dagang FEI Inspect S50

Pengujian deposit lapisan pada spesimen elektroplating ini dilakukan untuk mengetahui bahwa spesimen yang telah dielektroplating benar-benar memiliki deposit lapisan seng dan mengetahui karakterisasi permukaannya. Uji ini dilakukan dengan pemotongan pada spesimen agar memiliki dimensi seperti standar uji, kemudian spesimen harus dibersihkan dari pengotor-pengotor yang masih menempel pada permukaannya agar didapatkan hasil uji yang baik. Pembersihan permukaan spesimen yang kurang baik akan memperbesar kemungkinan kesalahan pengamatan dari sampel uji. Setelah spesimen bersih dari pengotor yang ada di permukaannya, spesimen dapat langsung diuji dengan menggunakan SEM.

### 3.6 Uji Ketebalan

Pengujian ketebalan deposit lapisan hasil *coating* yang terbentuk setelah proses elektroplating. Pengujian ketebalan deposit lapisan *coating* dilakukan di PT. Cipta Agung dengan menggunakan alat uji ketebalan *Dry Film Thickness (DFT) Elcometer* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.16



**Gambar 3.16** Alat Uji Ketebalan *Dry Film Thickness (DFT) Elcometer*

---

Pengukuran ketebalan dilakukan pada tiga titik yaitu pada setiap ujung spesimen dan titik tengah dari spesimen. Pengukuran tiga titik dilakukan agar didapatkan sebaran ketebalan diseluruh permukaan spesimen. Pengukuran ketebalan dilakukan dengan menempelkan secara langsung *probe* dari alat uji ketebalan terhadap permukaan spesimen hasil *coating* selama beberapa saat sampai terdengar suara penanda pengukuran ketebalan telah selesai dilakukan oleh alat. Setelah terdengar bunyi penanda pengukuran selesai, barulah ketebalan lapisan *coating* terbaca dilayar alat. Kemudian dicatat dan dihitung nilai rata-rata ketebalan dari tiap spesimen.

### 3.7 Uji Kelekatan

Pengujian kelekatan lapisan *coating* terhadap benda kerja yang dilapisinya dilakukan di PT Cipta Agung dengan metode uji *pull-off* menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester, dengan spesifikasi resolusi 1 psi (0.01 Mpa), akurasi  $\pm 1\%$  sekala penuh, seperti terlihat pada Gambar 3.17



**Gambar 3.17** Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester

Spesimen perlu dipersiapkan terlebih dahulu sesuai standar spesimen uji *pull-off*. Spesimen ditempelkan kepada alat penarik yang berbentuk seperti pion catur yang bernama *De Felsko dolly*. *De Felsko dolly* yang digunakan pada pengujian ini memiliki diameter 20 mm. Penempelan spesimen uji kepada alat penarik dilakukan menggunakan lem epoxy dan lem epoxy dibiarkan mengering.

Kemudian spesimen harus dibersihkan dari sisa-sisa lem disamping alat penarik dengan menggunakan alat *cutting tool* yang berbentuk bulat. Pembersihan lem ini bertujuan agar didapatkan hasil pengukuran kelekatan yang valid. Setelah spesimen bersih dari sisa lem, spesimen uji siap untuk dilakukan uji *pull-off*. Uji *pull-off* dilakukan dengan memasukkan tuas penarik kedalam alat penarik yang terhubung dengan alat pembaca tekanan. Spesimen perlahan-lahan ditarik sampai lapisan *coating* pada permukaan spesimen mengelupas kemudian besar kekuatan tarik lapisan hasil elektroplating dibaca pada alat pengukur tekanan.

### **3.8 Pengujian Laju Korosi**

Pengujian laju korosi ini dilakukan dilaboratorium pengendalian korosi dan kegagalan material teknik material dan metalurgi. Dengan menggunakan metode pengujian *weight loss*. Metode ini untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja karbon yang telah dilapisi dengan logam seng (Zn) dengan memanfaatkan larutan elektrolit  $ZnSO_4$  sebagai bahan sumber logam seng (Zn). Pengujian laju korosi dilakukakan pada media lingkungan NaCl 3,5%. Ketebalan yang digunakan sesuai dengan ketebalan hasil dari elektroplating berdasarkan perbedaan konsentrasi dari elektrolit yang digunakan. Material *coating* yang digunakan pada pengujian laju korosi ini adalah baja karbon rendah ASTM A213 Grade T11 yang telah dilapisi dengan menggunakan logam seng. Lama dari pengujian laju korosi yang

---

dilakukan adalah selama 96 jam dengan menggunakan larutan korosif NaCl 3,5% dengan menggunakan metode *salt spray*. Sebelum dilakukan pengujian seluruh dari sampel dilakukan pengukuran berat untuk mengetahui berat awal, lalu dilakukan pengukuran berat setiap setelah dilakukan *salt spray* selama 96 jam. Setelah selesai pengujian *salt spray* maka dilakukan penimbangan agar diketahui perubahan berat per satuan waktu dan dilakukan perhitungan laju korosi yang terjadi. Standard pengujian yang digunakan adalah ASTM G-31

### 3.9 Rencana Penelitian

Tabel 3.1 Rencana penelitian

Konsentrasi ZnSO <sub>4</sub> (%)	Spesimen	Uji Ketebalan	Uji Adhesif	Uji laju korosi	SEM
5	1				
	2				
	3				
	4				
10	1				
	2				
	3				
	4				
15	1				
	2				
	3				
	4				
20	1				
	2				
	3				
	4				

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengamatan Makro dan Mikro Hasil Elektroplating

##### 4.1.1 Pengamatan Makro Secara Visual

Pengamatan makro dilakukan langsung secara visual pada spesimen uji hasil elektroplating untuk mengamati perubahan yang terjadi terhadap spesimen uji sebelum dan sesudah proses elektroplating. Persiapan pembuatan spesimen uji ini dilakukan dengan memotong baja ASTM A213 T11 dengan dimensi panjang 5 cm, lebar 2,5 cm dan tebal 0,4 cm. Kemudian dilakukan penghalusan permukaan pada spesimen. Pada penelitian ini menggunakan larutan elektrolit  $ZnSO_4$  sebagai bahan untuk melapisi baja. Gambar spesimen sebelum proses elektroplating dapat dilihat pada Gambar 4.1 sedangkan untuk spesimen uji setelah proses elektroplating dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.1** Spesimen Uji Sebelum Proses Elektroplating



**Gambar 4.2** Spesimen Uji Setelah Proses Elektroplating

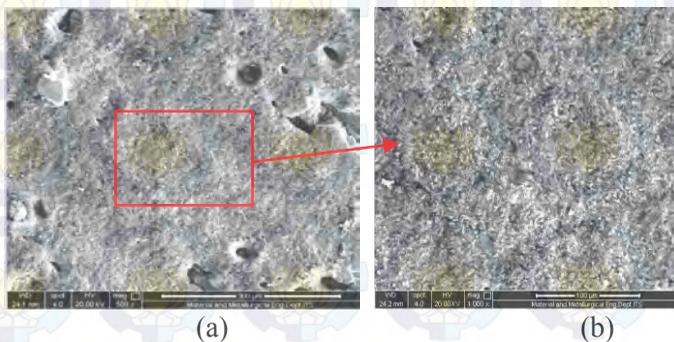
Berdasarkan pengamatan secara visual yang dilakukan pada spesimen setelah proses elektroplating dapat dilihat bahwa semua permukaan spesimen sudah terlapis dengan baik oleh logam seng (Zn) yang dijadikan sebagai bahan pelapis logam. Permukaan logam yang telah dilapisi memiliki tingkat kerataan yang baik dengan ditandai oleh tidak terlihat adanya permukaan logam yang terbuka atau belum terlapisi serta tidak terlihat adanya pori di permukaan logam. Pengamatan secara visual pada spesimen uji hasil proses elektroplating dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Dari Gambar 4.2 tersebut dapat dilihat bahwa tampak lapisan permukaan spesimen uji telah seluruhnya dilapisi dengan logam seng, hal ini karena dengan proses elektroplating sudah menutupi semua permukaan logam uji sehingga yang terlihat hanya lapisan logam seng hasil dari elektroplating. Sehingga

dapat disimpulkan bahwa hasil proses elektroplating pada penelitian ini berjalan dengan baik.

#### 4.1.2 Pengamatan Secara Mikro

Pengamatan secara mikro pada spesimen uji hasil elektroplating bertujuan mengetahui apakah lapisan deposit hasil dari proses elektroplating sudah melapisi seluruh permukaan spesimen uji atau belum. Pengamatan secara mikro menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pengamatan Secara Mikro dengan Berbagai Pembesaran : (a) Pembesaran 500x, (b) Pembesaran 1000x

Pada Gambar 4.3 (b) dengan pembesaran pembacaan 1000x dapat dilihat bahwa seluruh permukaan spesimen uji sudah terlapisi serta distribusi lapisan terlihat merata diseluruh permukaan spesimen uji yang dilapisi oleh logam seng (Zn). Gambar (a) dengan pembesaran 500x dapat dilihat bahwa sebagian besar permukaan spesimen uji sudah terlapisi oleh logam seng (Zn) secara merata. Akan tetapi ada bagian yang terbuka yang berbentuk mirip seperti lingkaran karena belum terlapisi oleh logam seng (Zn). Hal ini disebabkan ketika proses

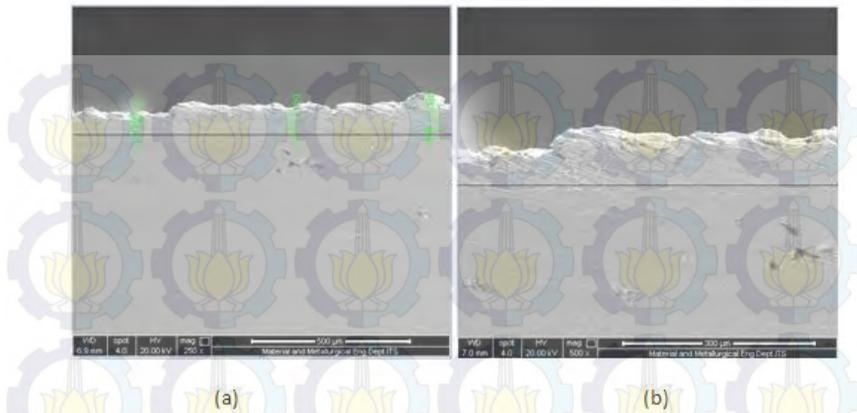
---

elektroplating berlangsung, pada katoda terjadi reaksi yang menghasilkan gas hidrogen ( $H_2$ ) berupa gelembung udara dan menempel pada permukaan spesimen uji seperti dijelaskan pada persamaan reaksi 2.3. Semakin banyak reaksi yang terjadi di katoda dan anoda maka akan terbentuk gelembung gas hidrogen yang banyak pula. Akibat terbentuknya gelembung gas hidrogen dan menempel pada permukaan spesimen uji maka elektron yang mengalir ke katoda (spesimen uji) tidak akan melewati daerah tersebut karena tertutup dengan gelembung hidrogen.

Menurut Huang (2006) perpindahan elektron terjadi dari anoda menuju katoda melalui kabel dan sebuah generator listrik. Ion logam dari garam dalam elektrolit membawa muatan positif dan akan tertarik ke arah katoda. Akan tetapi, karena daerah tersebut tertutup oleh gelembung hidrogen maka kation seng ( $Zn$ ) dalam elektrolit yang tertarik ke katoda tidak akan menempel pada daerah tersebut sehingga ketika proses elektroplating selesai daerah tersebut tidak terlapsi oleh logam seng ( $Zn$ ) dan terlihat seperti membentuk lubang pada permukaan spesimen uji. Oleh karena itu, agar hasil elektroplating merata secara makro dan secara mikro maka harus meminimalkan adanya gelembung gas hidrogen yang menempel pada spesimen uji ketika proses elektroplating berjalan.

Selain melihat dari permukaan spesimen uji yang telah dilapsi oleh logam seng ( $Zn$ ), maka dilihat pula dari penampang melintang (*cross section*) untuk memastikan adanya lapisan deposit yang menempel pada spesimen serta dilihat pula ketebalan dari lapisan deposit yang menempel pada permukaan spesimen uji. Hasil tampak samping dapat dilihat pada Gambar 4.4

---



**Gambar 4.4** Pengamatan Penampang Melintang (*cross section*) :  
(a) Ketebalan lapisan deposit dengan pembesaran 250x, (b)  
Lapisan deposite dengan pembesaran 500x

Dari Gambar 4.4 (b) dapat dilihat bahwa lapisan deposit dari logam seng (Zn) terbentuk diatas permukaan spesimen uji dengan warna lebih terang dibandingkan warna dari spesimen uji. Hal ini mengindikasikan bahwa ketika proses elektroplating berlangsung, kation seng ( $Zn^{2+}$ ) dari elektrolit berpindah dan menempel pada permukaan spesimen uji sehingga permukaan spesimen uji tertutupi oleh logam seng (Zn).

Gambar 4.4 (a) adalah gambar penampang melintang dari spesimen uji untuk melihat dan memastikan ketebalan dari lapisan deposit seng (Zn). Dari gambar dapat dilihat bahwa nilai ketebalan diperoleh dari tiga titik. Titik pertama sebesar  $55,95\mu m$ , titik kedua sebesar  $64,11\mu m$  dan titik ketiga sebesar  $78,11\mu m$ . Jika diambil nilai rata-rata dari data tersebut maka didapatkan nilai rata-rata ketebalan pada spesimen uji adalah  $66,05\mu m$ . Jika dibandingkan dengan nilai ketebalan hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur ketebalan *Dry Film Thickness* (DFT) maka nilai tersebut dapat dikatakan sama seperti nilai ketebalan pada Tabel 4.1.

#### 4.2 Pengukuran Ketebalan Lapisan *Coating* Hasil Proses Elektroplating

Uji ketebalan lapisan *coating* hasil dari proses elektroplating dilakukan bertujuan mengetahui seberapa tebal lapisan yang dihasilkan dari proses tersebut. Pengukuran ketebalan dilakukan pada tiga titik spesimen uji yaitu dua titik disetiap ujung spesimen dan satu titik ditengah, kemudian dari ketiga titik tersebut diambil nilai rata-rata sebagai nilai akhir dari ketebalan lapisan *coating* pada spesimen uji tersebut.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat pengukur ketebalan lapisan *coating* DFT (*Dry Film Thickness*) dengan merk *Elcometer* serta mengacu pada ASTM B 499. Pengukuran ini dilakukan dengan menempatkan *probs* pada permukaan logam yang telah dilapisi dengan posisi *probs* tegak lurus bidang datar spesimen yang akan diuji. Pengukuran selesai sampai muncul tanda suara bahwa pembacaan telah selesai. Kesalahan pembacaan dapat terjadi jika posisi *probs* tidak tegak lurus bidang datar dan ujung *probs* tidak menempel dengan benar pada permukaan spesimen. Pembacaan selesai ditandai dengan nilai ketebalan yang terlihat dilayar DFT sudah stabil atau tidak adanya perubahan nilai. Kesalahan peletakan *probs* pada permukaan spesimen dapat mengakibatkan pembacaan ketebalan lebih besar dari yang seharusnya atau bisa lebih kecil dari ketebalan sebenarnya. Maka perlu ketelitian ketika mengukur ketebalan dengan menggunakan alat ukur DFT. Hasil pengukuran ketebalan lapisan *coating* dengan metode elektroplating dapat dilihat pada Tabel 4.

---

Tabel 4.1 Ketebalan Lapisan *Coating* Setiap Konsentrasi

Konsentrasi (%)	Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )
5	38,10	37,60
	37,60	
	36,50	
	38,20	
10	50,70	52,05
	54,20	
	51,10	
	52,20	
15	72,40	72,35
	69,00	
	74,80	
	73,20	
20	83,20	85,40
	87,00	
	84,10	
	87,30	

Hasil pengukuran ketebalan dari masing-masing konsentrasi larutan  $\text{ZnSO}_4$  dapat dilihat pada Tabel 4.1, Dari Tabel tersebut dapat dilihat bahwa dari masing-masing konsentrasi memberikan nilai ketebalan yang berbeda-beda walaupun perbedaan nilai ketebalannya tidak terlalu besar.

Pada konsentrasi 5%  $\text{ZnSO}_4$  nilai ketebalan dari lapisan yang didapatkan antara 36  $\mu\text{m}$  sampai dengan 38,20  $\mu\text{m}$ . Nilai ini memberikan adanya perbedaan ketebalan pada setiap spesimen uji tetapi rentang nilai ketebalan tidak terlalu besar antara spesimen yang satu dengan yang lainnya. Ketebalan terkecil terdapat pada spesimen uji ketiga dengan nilai ketebalan 36,50  $\mu\text{m}$ . Secara keseluruhan nilai rata-rata ketebalan lapisan untuk konsentrasi 5%  $\text{ZnSO}_4$  didapatkan sebesar 37,60  $\mu\text{m}$ .

---

Pada konsentrasi 10%  $\text{ZnSO}_4$ , nilai ketebalan meningkat dari nilai ketebalan dengan konsentrasi  $\text{ZnSO}_4$  5%. Peningkatan nilai ketebalan ini sangat signifikan dari yang sebelumnya dengan peningkatan ketebalan sekitar  $\pm 20 \mu\text{m}$ . Ketebalan pada konsentrasi ini memiliki rentang antara 50,70  $\mu\text{m}$  sampai 54,20  $\mu\text{m}$ . Ketebalan pada spesimen uji pertama memiliki nilai yang paling kecil dibandingkan spesimen uji yang lain dengan nilai ketebalan sebesar 50,70  $\mu\text{m}$ . Kemudian ketebalan meningkat pada spesimen kedua menjadi 54,20  $\mu\text{m}$ . Akan tetapi menurun pada spesimen uji ketiga dan meningkat lagi pada spesimen uji keempat. Ketebalan yang paling besar terdapat pada sampel kedua dengan nilai 54,20  $\mu\text{m}$ . Jika dilihat dari data yang diperoleh pada pengukuran ketebalan untuk konsentrasi 10%  $\text{ZnSO}_4$  memiliki distribusi ketebalan yang merata, hal ini ditunjukkan oleh perbedaan nilai ketebalan yang tidak terlalu besar.

Konsentrasi 15%  $\text{ZnSO}_4$  memberikan nilai ketebalan yang bervariasi antar spesimen satu dan yang lainnya. Akan tetapi perbedaan ini tidak terlalu signifikan. Dari Tabel 4.1 untuk konsentrasi 15%  $\text{ZnSO}_4$  memiliki nilai rata-rata ketebalan sebesar 72,35  $\mu\text{m}$ . Hal ini selaras dengan literatur yang menyebutkan bahwa elektroplating dengan logam seng (Zn) bisa didapatkan ketebalan lapisan deposit sampai dengan 75  $\mu\text{m}$ . Maka dapat dikatakan bahwa ketika konsentrasi  $\text{ZnSO}_4$  sebesar 15% nilai ketebalan sudah mencapai nilai yang seharusnya. Pada konsentrasi ini sebaran nilai ketebalan berada pada kisaran 69,00  $\mu\text{m}$  sampai dengan 74,80  $\mu\text{m}$ . Akan tetapi dari data ketebalan yang diperoleh, ada nilai ketebalan yang berbeda dengan yang lainnya yaitu pada spesimen uji yang ke dua dengan nilai 69  $\mu\text{m}$ . Sedangkan untuk konsentrasi 20%  $\text{ZnSO}_4$  sebaran nilai ketebalan

---

berada pada kisaran 83  $\mu\text{m}$  sampai dengan 87  $\mu\text{m}$ . Pada konsentrasi ini nilai ketebalan relatif seragam antara spesimen satu dengan yang lainnya. Dari setiap perbedaan konsentrasi larutan  $\text{ZnSO}_4$  akan memberikan nilai ketebalan yang berbeda-beda. Nilai rata-rata dari setiap perubahan konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Grafik Hubungan Nilai Ketebalan dan Konsentrasi  $\text{ZnSO}_4$

Gambar grafik 4.5 ketebalan untuk konsentrasi 5%  $\text{ZnSO}_4$  adalah 37,60  $\mu\text{m}$ , konsentrasi 10%  $\text{ZnSO}_4$  sebesar 52,05  $\mu\text{m}$ , konsentrasi 15%  $\text{ZnSO}_4$  sebesar 72,35  $\mu\text{m}$  dan konsentrasi 20%  $\text{ZnSO}_4$  sebesar 85,40  $\mu\text{m}$ . Sehingga dapat dilihat bahwa nilai ketebalan dari setiap perbedaan konsentrasi mengalami kenaikan seiring dengan naiknya konsentrasi dari  $\text{ZnSO}_4$ , kenaikan ini terjadi karena ketika konsentrasi  $\text{ZnSO}_4$  dinaikan maka kandungan ion  $\text{Zn}^{2+}$  pada  $\text{ZnSO}_4$  akan ikut naik pula. Ketika ada

---

aliran elektron dari anoda ke katoda (spesimen uji) dan elektron berkumpul diseluruh permukaan katoda maka ion  $Zn^{2+}$  akan sangat mudah untuk bergerak ke katoda dan menempel pada permukaan spesimen uji. Makin banyak konsentrasi ion  $Zn^{2+}$  yang terkandung didalam larutan elektrolit maka akan semakin banyak yang menempel pada permukaan spesimen uji. Sehingga hal tersebut mengakibatkan ketebalan dari lapisan deposit logam seng semakin tebal. Oleh karena itu hal ini menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi pada larutan elektrolit akan memberikan pengaruh yang baik terhadap nilai ketebalan yang diperoleh.

Menurut Hosking (2007) ketebalan yang bisa dicapai pada proses pelapisan dengan bahan pelapis dari logam serta dengan menggunakan metode elektroplating dengan ketebalan bisa mencapai  $75\mu m$ . Pada penelitian ini, nilai ketebalan yang diperoleh menggunakan metode elektroplating dengan logam seng (Zn) sebagai pelapis memiliki ketebalan hingga  $85,40\mu m$ . Maka dapat disimpulkan bahwa pelapisan logam menggunakan logam seng (Zn) dan metode elektroplating pada penelitian ini sudah sesuai dengan literatur yang mendukung. Contoh gambar nilai hasil pengukuran ketebalan lapisan *coating* dapat dilihat pada Gambar 4,6.

---



**Gambar 4.6** Pengujian Ketebalan Lapisan *Coating* Seng (Zn) Menggunakan Alat DFT

### 4.3 Pengujian Nilai Adhesiv Lapisan *Coating*

Pengujian daya lekat atau *adhesion test* dilakukan untuk mengetahui daya lekat lapisan deposit dari logam seng (Zn) yang menempel pada permukaan spesimen uji. Pengujian daya lekat pada penelitian ini dilakukan pada beberapa perbedaan konsentrasi elektrolit yaitu dengan konsentrasi  $\text{ZnSO}_4$  5%, 10%, 15% dan 20%.

Daya lekat lapisan deposit terhadap permukaan benda yang akan dilapisi dipengaruhi oleh banyak faktor salah satunya ketika preparasi sebelum pengujian daya lekat dilakukan. Untuk mendapatkan nilai dari daya lekat yang baik perlu dilakukan preparasi spesimen uji yaitu meratakan permukaan spesimen uji dengan bantuan alat gerinda dan kertas ampelas agar keratan disetiap titi sama, pembersihan lapisan koting dari debu (*Dust*) dan kontaminan lainya seperti minyak pada permukaan spesimen uji. Pembersihan dari kontaminasi ini dilakukan dengan merendam spesimen uji pada larutan natruim hidroksida agar pengotor minyak hilang dari permukaan spesimen uji. Kemudian

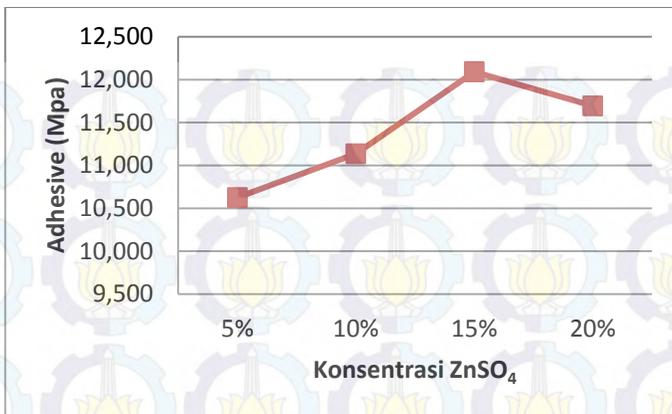
---

agar hasil dari daya lekat lebih maksimal maka penempelan *pin dolly* disarankan satu hari sebelum dilakukan pengujian daya lekat. Pengujian ini menggunakan alat uji kelekatan *PosiTest AT-M Adhesion Tester* yang mengacu pada ASTM D 454, dan didapatkan nilai daya lekat dari lapisan deposit seng (Zn) seperti dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai Daya Lekat Lapisan Deposit Seng (Zn)

Konsentrasi (%)	Nilai Daya Lekat (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
5	11,34	10,625
	9,91	
10	10,62	11,135
	11,65	
15	11,73	12,090
	12,45	
20	11,18	11,695
	12,21	

Hasil yang diperoleh dari pengujian daya lekat dari setiap perbedaan konsentrasi mengalami kenaikan akan tetapi kenaikan tersebut tidak terlalu signifikan. Pada konsentrasi 5% dan 10% tidak memberikan perbedaan yang cukup besar. Kenaikan nilai daya lekat dari konsentrasi 5% ke konsentrasi 10% hanya 0,51 Mpa. Kenaikan yang paling besar pada uji kelekatan terjadi pada konsentrasi 10% ke konsentrasi 15% sebanyak 0,955 Mpa. Kenaikan daya lekat pada setiap konsentrasi seperti terlihat pada Gambar grafik 4.7



**Gambar 4.7** Grafik Nilai Rata-Rata Daya Lekat pada Konsentrasi 5%, 10%, 15% dan 20%

Pada pengujian ini ada beberapa fenomena yang terjadi yaitu nilai daya lekat yang diperoleh untuk setiap konsentrasi bukan seluruhnya nilai daya lekat antara lapisan deposit *coating* dengan bajanya. Akan tetapi sebagian akibat kerusakan pada lem sehingga nilai yang diperoleh belum sesuai dengan yang seharusnya. Ketika *pin dolly* ditempelkan pada permukaan spesimen uji dengan bantuan lem sebagai pelekatnya kemudian dibiarkan sampai lem kering. Pada waktu melakukan pengujian *Adhesif* lapisan *coating* tidak terangkat dan yang lepas adalah *pin dolly* dari lem. Hal ini menandakan bahwa nilai daya lekat lapisan logam seng sangat kuat dan lebih besar dari nilai yang didapatkan. Gambar 4.9 adalah hasil pengamatan visual pada spesimen uji setelah dilakukannya uji *Adhesif* dimana substrat dari lapisan *coating* tidak terangkat oleh lem yang ditempelkan pada permukaan.



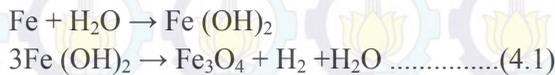
**Gambar 4.8** Hasil Pengujian Daya Lekat Lapisan *Coating*

#### 4.4 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat (*weight lose*) bertujuan mengetahui seberapa cepat material atau spesimen uji terdegradasi akibat pengaruh lingkungan. Pada pengujian laju korosi ini mengacu pada ASTM B 117 – 73 yang merupakan standar metode sembur kabut garam NaCl 3,5% (*Salt Spray Testing*) selama 96 jam. Laju korosi pada penelitian ini dilakukan dengan melihat berat yang hilang (*Weight Loss*) dari spesimen uji dibandingkan dengan berat awal dari spesimen uji sebelum terkorosi.

Pengujian laju korosi dimulai dari peletakan spesimen uji didalam *salt spray chamber* dengan posisi sudut  $45^\circ$  dari bidang horizontal. Setelah itu dialirkan udara tekan bersamaan dengan

masuknya larutan NaCl 3,5% sehingga terbentuk kabut pada wadah tersebut. Kabut NaCl ini menyebabkan logam cepat terkorosi. Dengan adanya logam seng yang bertindak sebagai pelapis (*Coating*) pada permukaan spesimen uji maka laju korosi pada spesimen uji dapat diminimalkan atau dikurangi sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengkorosi spesimen uji tersebut menjadi lebih lama. Pada uji ini larutan garam yang ada didalam wadah *salt spray* tidak langsung bereaksi dengan spesimen uji tetapi akan bereaksi dengan logam seng terlebih dahulu. Setelah spesimen uji terpapar dengan NaCl 3,5% selama 96 jam maka selama itu akan terjadi korosi pada spesimen uji yang mengakibatkan sebagian dari spesimen uji bereaksi dengan larutan NaCl yang menghasilkan produk korosi yang berwarna orange. Jika dilihat dari reaksi 4.1, reaksi yang terjadi ketika proses korosi dengan lingkungan berlangsung seperti reaksi berikut :



Dimana  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan produk korosi yang menempel pada lapisan baja, Atau jika pada uji *salt spray* reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Akan tetapi karena spesimen uji dilapisi oleh logam seng yang memiliki nilai potensial sel yang lebih rendah dari baja maka yang terlebih dahulu bereaksi adalah antara NaCl dengan logam seng sebelum bereaksi dengan baja, reaksinya sebagai berikut :



Sehingga karena adanya lapisan seng maka yang pertama terbentuk adalah produk korosi dengan logam seng yang berwarna putih seperti pada Gambar 4.9



**Gambar 4.9** Pengamatan Hasil Proses Korosi Dengan Pembesaran 20x

Menurut P. Møller (2013) dalam sistem Zn-Cl-H<sub>2</sub>O, hal ini menunjukkan bahwa bentuk-bentuk seng salah satunya adalah ZnCl<sub>2</sub>, ion klorida dan ion seng yang kompleks dan mempercepat kinetika korosi, tetapi tidak mengubah stabilitas dari reaksi. Akan tetapi jika permukaan seng klorida kontak dengan CO<sub>2</sub> di atmosfer akan terjadi reaksi lanjutan, dan secara alami akan terbentuk lapisan yang terdiri dari *hydrozincite* mineral, Zn<sub>5</sub>(OH)<sub>6</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Jika klorida unsur yang ditemukan di lingkungan dan konsentrasi cukup tinggi, maka tiga komponen utama yang sering terdapat pada hasil produk korosinya yaitu seng oksida (ZnO), *hydrozincite* Zn<sub>5</sub>(OH)<sub>6</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan *simonkolleite* (Zn<sub>5</sub>(OH)<sub>8</sub>Cl<sub>2</sub> • H<sub>2</sub>O). Dalam penelitian ini dimana tes dilakukan dengan di semprot garam menurut ASTM B117, klorida tampaknya memainkan peran penting, dan hasil proses

pengkorosian akan membentuk senyawa  $ZnCl_2$  sesuai persamaan reaksi 4.3 dan Gambar 4.9.

Secara visual produk korosi dapat dilihat pada Gambar 4.10



**Gambar 4.10** Pengamatan Visual Spesimen Uji Setelah Dilakukan *Salt Spray*

Gambar 4.10 dapat dilihat produk korosi yang dihasilkan berwarna putih dan tersebar di seluruh permukaan. Meskipun dilakukan penggosokan pada spesimen uji tetapi korosi tidak terjadi langsung dengan spesimen uji. Kemudian akibat dari adanya interaksi tersebut maka berat dari spesimen uji akan berkurang sedikit demi sedikit. Kehilangan berat tersebut diamati dan dianalisa untuk mengetahui persentase kehilangan berat selama pengujian berlangsung. Untuk mengetahui persentase kehilangan berat (*weight lose*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

---

$$\% \text{ weight lose} = \frac{(\text{berat awal} - \text{berat setelah terkorosi})}{\text{berat awal}}$$

Berat yang hilang pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 *Weight lose* selama pengujian

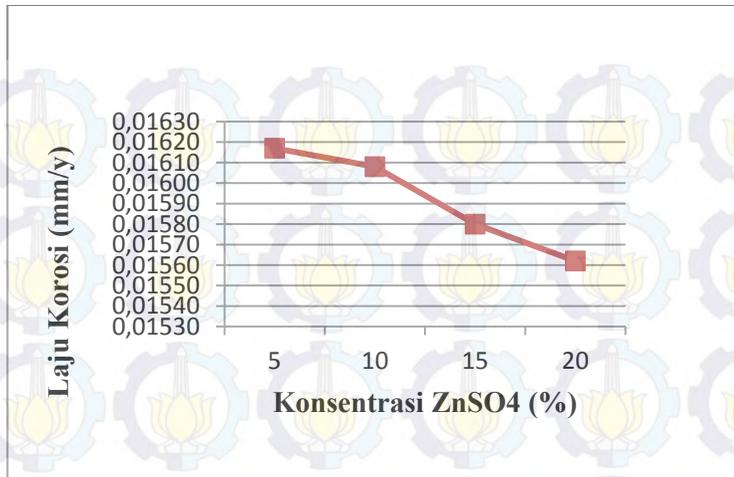
Konsentrasi (%)	Weight Lose (gram)	Persentase Weight Lose (%)	Rata-rata (%)
5	0,0041	0,0116	0,0131
	0,0047	0,0146	
10	0,0038	0,0134	0,0135
	0,0049	0,0135	
15	0,0044	0,0131	0,0126
	0,0042	0,0121	
20	0,0044	0,0125	0,0123
	0,0041	0,0120	

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa berat yang hilang ketika proses korosi berlangsung sangat kecil hal ini menunjukkan adanya *coating* pada permukaan logam akan menurunkan berat yang hilang. Dari data tersebut sangat berhubungan dengan laju korosi yang terjadi selama proses pengujian berlangsung. Kehilangan berat tersebut dapat dijadikan data acuan untuk melihat besarnya laju korosi yang terjadi pada spesimen uji tersebut. Nilai laju korosi hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Laju Korosi pada spesimen uji setelah di *coating*

Konsentrasi (%)	Sampel	Laju Korosi (mm/y)	Rata – Rata Laju korosi (mm/y)
5	1	0,01507	0,01617
	2	0,01727	
10	1	0,01415	0,01608
	2	0,01801	
15	1	0,01617	0,01580
	2	0,01543	
20	1	0,01617	0,01562
	2	0,01507	

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat nilai laju korosi untuk setiap konsentrasi tidak memberikan adanya perbedaan yang signifikan. Pada konsentrasi larutan elektrolit  $ZnSO_4$  5% sampai dengan konsentrasi 20% terdapat penurunan laju korosi yang sangat kecil. Penurunan laju korosi dapat dilihat dari Gambar grafik 4.10



**Gambar 4.11** Grafik Laju Reaksi setiap Konsentrasi Menurut standar ISO 12944 bagian 2 menjelaskan klasifikasi laju korosi terhadap dampak yang ditimbulkan kedalam lima kategori yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5

Tabel 4.5 Laju korosi yang diukur dalam  $\text{g/m}^2/\text{tahun}$  untuk lima kelas yang berbeda

Class	Steel	Copper	Aluminum	Zinc
C1	$\text{CR} \leq 10$	$650 < \text{CR}$	Negligible	$\text{CR} \leq 0,7$
C2	$10 < \text{CR} \leq 200$	$0,9 < \text{CR} \leq 5$	$\text{CR} \leq 0,6$	$0,7 < \text{CR} \leq 5$
C3	$200 < \text{CR} \leq 400$	$5 < \text{CR} \leq 12$	$0,6 < \text{CR} \leq 2$	$5 < \text{CR} \leq 15$
C4	$400 < \text{CR} \leq 650$	$12 < \text{CR} \leq 25$	$2 < \text{CR} \leq 5$	$15 < \text{CR} \leq 30$
C5	$650 < \text{CR}$	$25 < \text{CR}$	$5 < \text{CR}$	$30 < \text{CR}$

Tabel 4.6 Gambaran dari lima kelas korosi sesuai dengan klasifikasi yang diberikan dalam ISO 12944 Bagian 2

ISO 12944 Classification	Steel Lose	Impact Korrosion
C1	$\leq 10 \text{ g/m}^2$ ( $\leq 1,3 \mu\text{m}$ )	Sangat Rendah
C2	10-200 $\text{g/m}^2$ (1,3-25 $\mu\text{m}$ )	Rendah
C3	200-400 $\text{g/m}^2$ (25-50 $\mu\text{m}$ )	Menengah
C4	400-650 $\text{g/m}^2$ (50-80 $\mu\text{m}$ )	Tinggi
C5-1	650-1500 $\text{g/m}^2$ (80-200 $\mu\text{m}$ )	Sangat Tinggi (Industri)
C5-M	650-1500 $\text{g/m}^2$ (80-200 $\mu\text{m}$ )	Sangat Tinggi (Air Laut)

Hasil pengujian laju korosi pada beberapa konsentrasi yang didapatkan nilai laju korosi untuk konsentrasi elektrolit 5% sebesar 0,01617 mm/y atau 16,17  $\mu\text{m/y}$ . Konsentrasi 10% sebesar 0,01608 mm/y atau 16,08  $\mu\text{m/y}$ , konsentrasi 15% sebesar 0,01580 mm/y atau 15,80  $\mu\text{m/y}$ , dan konsentrasi 20% sebesar 0,01562 mm/y atau 15,62  $\mu\text{m/y}$ . Jika dibandingkan antara hasil pengujian pada penelitian ini dengan standar ISO 12944 bagian 2, maka dapat dilihat bahwa laju korosi yang terjadi berada pada daerah rendah yaitu antara 1,3 -25  $\mu\text{m/y}$ . Hal ini menunjukkan bahwa laju korosi yang terjadi pada spesimen uji berada pada daerah dengan laju korosi yang rendah.



BAB V  
KESIMPULAN

V.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka disimpulkan bahwa :

1. Penambahan konsentrasi dari seng sulfat ( $ZnSO_4$ ) pada larutan elektrolit akan memberikan pengaruh terhadap ketebalan yang diperoleh, yaitu semakin tinggi konsentrasi elektrolit maka ketebalan lapisan *coating* semakin tebal.
2. Penambahan konsentrasi dari seng sulfat ( $ZnSO_4$ ) pada larutan elektrolit akan memberikan pengaruh terhadap daya lekat dari konsentrasi 5% sampai 15%. Nilai Adhesif meningkat dan turun kembali pada konsentrasi 20%
3. Penambahan konsentrasi dari seng sulfat ( $ZnSO_4$ ) pada larutan elektrolit akan menurunkan laju korosi pada spesimen uji.

V.2 SARAN

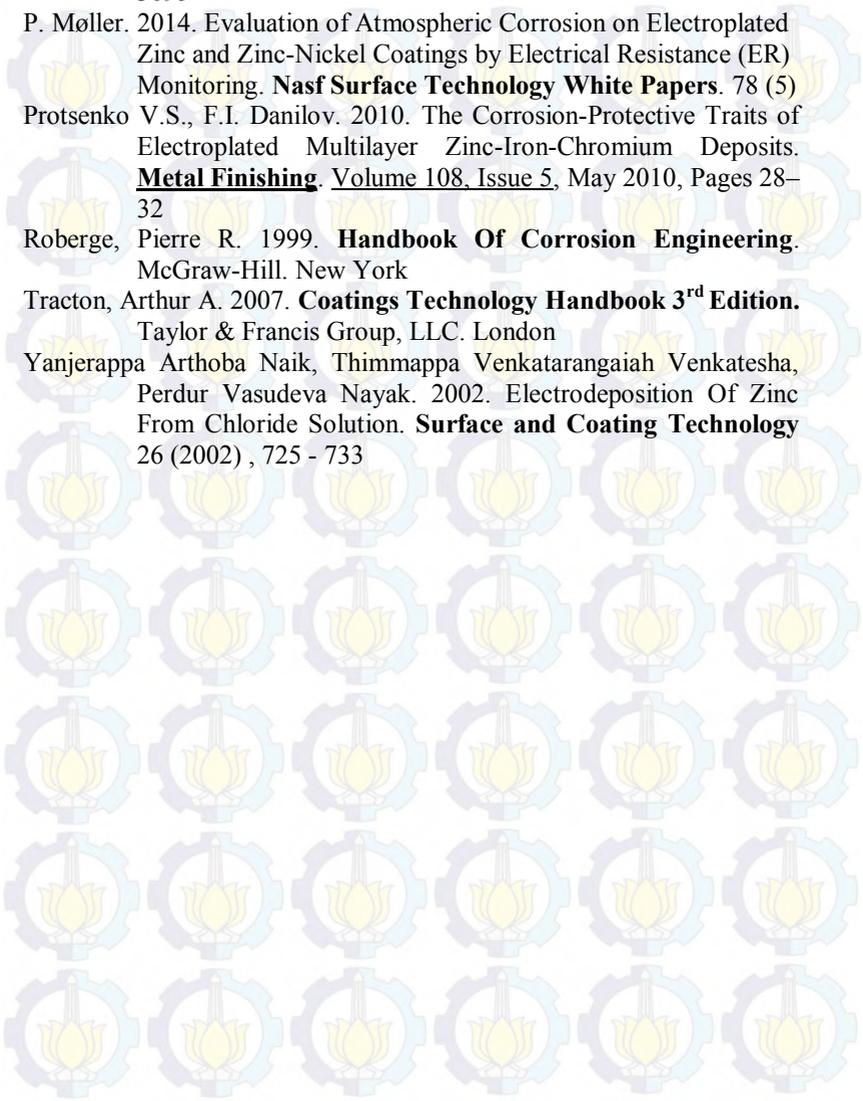
1. Melakukan penelitian dengan rentang konsentarsi konsentrasi larutan elektrolit yang lebih kecil
2. Melakukan preparasi spesimen uji dengan teliti agar mendapatkan nilai adhesif yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.Y. Hosny, M.E. El-Rafei, T.A. Ramadan, B.A. El-Gafari. 1995. Corrosion Resistance of Zinc Coatings Produced from a Sulfate Bath. **Metal Finishing** Volume 93, Issue 11, November 1995, Pages 55–59
- Calister, William D. 2009. **Materials Science And Engineering An Introduction 8<sup>th</sup> Edition**. John Wiley and son. USA
- Drs. Suwinardi. 1994. **Hubungan Antara Masa Zat Yang Terbentuk Dengan Waktu Dalam Proses Elektroplating**. Undip. Semarang
- Hermanto, Kikin. 2015. Pengaruh Pencampuran Konsentrasi H<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> Dan Gelatin Dalam Elektrolit Gel Terhadap Ketebalan Dan Kekuatan Lekat Lapisan Krom Pada Baja Dengan Metode Elektroplating. **Tugas Akhir Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi**. ITS. Surabaya
- J.B. Bajat, V.B. Miškovi'c-Stankovi'c. 2003. Protective Properties Of Epoxy Coatings Electrodeposited On Steel Electrochemically Modified By Zn–Ni Alloys. **Progress In Organic Coatings**, Volume 49, Issue 3, April 2004, Pages 183–196
- J. Podder, J.K. Saha And. 2011. Crystallization Of Zinc Sulphate Single Crystals And Its Structural, Thermal And Optical Characterization. **Journal Of Bangladesh Academy Of Sciences**, Vol. 35, No. 2, 203-210
- Kalpakistan, Serope. 2009. **Manufacturing Engineering and Technology SI 6<sup>th</sup> Edition**. Prentice Hall. New York
- L.E. Morón, Alia Méndez, F. Castañeda, J.G. Flores, L. Ortiz-Frade, Y. Meas, G. Trejo. 2011. Electrodeposition And Corrosion Behavior Of Zn Coatings Formed Using As Brighteners Arene Additives Of Different Structure. **Surface & Coatings Technology** 205 (2011) 4985–4992
- L. Setiono, Pudjaatmaka Hayana. 1990. **Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Karo Dan Semimikro**. PT Kalman Media Pustaka. Jakarta
- Lowenheim, A Frederick. 1978. Elektroplating : **Fundamentals Of Surface Finishing**. McGRAW-Hill Book Company. New York
- N.C. Hosking, M.A. Stro'm, P.H. Shipway, C.D. Rudd. 2007. Corrosion Resistance Of Zinc–Magnesium Coated Steel. **Corrosion**
-

---

**Science** Volume 49, Issue 9, September 2007, Pages 3669–3695

- P. Møller. 2014. Evaluation of Atmospheric Corrosion on Electroplated Zinc and Zinc-Nickel Coatings by Electrical Resistance (ER) Monitoring. **Nasf Surface Technology White Papers**. 78 (5)
- Protsenko V.S., F.I. Danilov. 2010. The Corrosion-Protective Traits of Electroplated Multilayer Zinc-Iron-Chromium Deposits. **Metal Finishing**, Volume 108, Issue 5, May 2010, Pages 28–32
- Roberge, Pierre R. 1999. **Handbook Of Corrosion Engineering**. McGraw-Hill. New York
- Tracton, Arthur A. 2007. **Coatings Technology Handbook 3<sup>rd</sup> Edition**. Taylor & Francis Group, LLC. London
- Yanjerappa Arthoba Naik, Thimmappa Venkatarangaiah Venkatesha, Perdur Vasudeva Nayak. 2002. Electrodeposition Of Zinc From Chloride Solution. **Surface and Coating Technology** 26 (2002) , 725 - 733
- 

**LAMPIRAN**

**A. Pengukuran Ketebalan Lapisan Coating**

Tabel Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan *Coating*

Konsentrasi (%)	Sampel	Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )	Rata-Rata ( $\mu\text{m}$ )
5	1	38,10	37,60
	2	37,60	
	3	36,50	
	4	38,20	
10	1	50,70	52,05
	2	54,20	
	3	51,10	
	4	52,20	
15	1	72,40	72,35
	2	69,00	
	3	74,80	
	4	73,20	
20	1	83,20	85,40
	2	87,00	
	3	84,10	
	4	87,30	

## B. Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi  $\frac{K \times W}{A \times D \times t}$

Tabel hasil perhitungan laju korosi pada spesimen uji

Keterangan :

W1 : Berat Awal

Konsentrasi	Sampel	W1	W2	W3	Cr	CR
5	1	35,2680	35,2639	0,0041	0,01507	0,01617
	2	32,2216	32,2169	0,0047	0,01727	
10	1	28,7805	28,7767	0,0038	0,01415	0,01608
	2	36,2109	36,2060	0,0049	0,01801	
15	1	33,6517	33,6473	0,0044	0,01617	0,01580
	2	34,8271	34,8229	0,0042	0,01543	
20	1	35,1693	35,1649	0,0044	0,01617	0,01562
	2	34,1250	34,1209	0,0041	0,01507	

W2 : Berat Setelah Terkorosi

W3 : Berat Hilang

Cr : Laju Korosi

CR : Rata-Rata Laju Korosi



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

---

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhyidin AM dilahirkan di kota sukabumi pada tanggal 27 Mei 1990. Penulis merupakan anak enam dari sembilan bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Pajagan , SMP Negeri 1 Cisolok, dan Sekolah Menengah Analis Kimia Bogor (SMAKBO). Lulus SMA tahun 2010, penulis melanjutkan untuk bekerja di salah satu perusahaan farmasi di jakarta dan kemudian melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS dalam Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) (2012-2013), kemudian sebagai Ketua Umum LDJ Ash Habul Khahfi (2013-2014). Selama kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium kimia analitik pada tahun 2013 dan 2015 asisnten laboratorium polimer dan komposit. Penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PT. Pertamina Field 4 EP Cepu selama 1,5 bulan. Korosi dan Kegagalan Material menjadi bidang tugas akhir yang penulis ambil untuk meraih gelar sarjana teknik.

Email : [muhyidin\\_am@yahoo.co.id](mailto:muhyidin_am@yahoo.co.id)