



TUGAS AKHIR - TL-141584

**PENGARUH VARIASI TEGANGAN DALAM PROSES
ELEKTROPLATING SENG PADA BAJA API 5L GRADE
B TERHADAP KETAHANAN KOROSI, KEKUATAN
ADHESI, DAN KETEBALAN LAPISAN**

YANUAR DWI PRASETYO

NRP. 2712 100 147

Dosen Pembimbing

Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT -TL 141584

**EFFECT OF VOLTAGE VARIATION ON ZINC
ELECTROPLATING PROCESS IN API 5L GRADE B
STEEL ON CORROSION RESISTANCE, ADHESIVE
STRENGTH, AND THICKNESS OF LAYER**

YANUAR DWI PRASETYO
NRP. 2712 100 147

Advisor

Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

**Materials And Metallurgicals Engineering
Department**

Faculty Of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI TEGANGAN DALAM PROSES
ELEKTROPLATING SENG PADA BAJA API 5L GRADE B
TERHADAP KETAHANAN KOROSI, KEKUATAN
ADHESIF, DAN KETEBALAN LAPISAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

Pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :
Yanuar Dwi Prasetyo
NRP. 2712100147

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng (Pembimbing 1)
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Pengaruh Variasi Tegangan dalam Proses Elektroplating Seng pada Baja API 5L Grade B Terhadap Ketahanan Korosi, Kekuatan Adhesi, dan Ketebalan Lapisan

Nama Mahasiswa : Yanuar Dwi Prasetyo
NRP : 2712 100 147
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan,ST,M. Eng
Ir. Rochman Rochiem M.Sc

ABSTRAK

Baja banyak digunakan di dunia industri khususnya bidang perminyakan dan gas, bagaimanapun baja mempunyai keterbatasan pada ketahanan korosi. Elektroplating adalah salah satu contoh pelapisan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Pelapisan ini menggunakan arus listrik searah dengan cara kerja yang mirip elektrolisis dengan variasi tegangan 30,35,40,45 volt., logam inert sebagai anoda dan logam dasar (spesimen) sebagai katoda. Hasil proses elektroplating adalah lapisan deposit logam pada permukaan baja (katoda). Pada penelitian ini, grafit sebagai anoda, baja API 5L Grade B berperan sebagai katoda dan larutan ZnSO₄ bertindak elektrolit. Pengujian kekuatan adhesi, ketebalan dan ketahanan korosi dilakukan pada hasil elektroplating. Dari hasil pengujian ketebalan dan kelekatan didapatkan fakta bahwa peningkatan tegangan mengakibatkan ketebalan dan kekuatan adhesi. Pada hasil lainnya, laju korosi terjadi penurunan. Nilai ketebalan dan kekuatan adhesi tertinggi secara berurutan ialah 45,39 μm dan 9,36 Mpa sedangkan nilai laju korosi terendah ialah 0,210 mm/y pada variasi tegangan 45 volt.

Kata kunci : *Coating, Variasi Tegangan, Elektroplating, Ketahanan Korosi, Kekuatan Adhesi, Ketebalan Lapisan*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Effect of Voltage Variation on Zinc Electroplating Process in API 5L Grade B Steel on Corrosion Resistance, Adhesive Strength, and Thickness of Layer

Name : Yanuar Dwi Prasetyo
NRP : 2712100147
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan, ST, M. Eng
Ir. Rochman Rochiem M.Sc

ABSTRACT

Steel is most used in industrial especially in oil and gas field, somehow steel has limitation in corrosion resistance. Electroplating is one of coating method to solve the problems. This coating uses direct current that is like electrolysis process with variation of voltage at 30, 35, 40, 45 volt, inert metal acts as anode and base metal (specimen) as cathode. Electroplating process result is deposit metal layer on the steel surface (cathode). In this study, graphite is used as the anode, API 5L Grade B as cathode and ZnSO₄ solution as electrolyte. Testing of adhesion strength, thickness and corrosion resistance on electroplating results were conducted. From the results are found that increase voltage causes increasing the thickness and adhesive strength. On the other hand, the corrosion rate is decreased. The highest value of thickness and adhesive strength are 45.39 μm and 9.36 Mpa, respectively and the value of lowest corrosion rate is 0.210 mm/y on a 45 volt.

Keyword : *Coating, Voltage Variation, Electroplating, Corrosion Resistance, Adhesive Strength, and Thickness of layer*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala rahmat dan hidayah-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“Pengaruh Variasi Tegangan dalam Proses Elektroplating Seng pada Baja API 5L Grade B Terhadap Ketahanan Korosi, Kekuatan Adhesi dan Ketebalan Lapisan”

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir pertama yang telah memberikan ilmu tentang pelapisan (*coating*) dan nasehat yang sangat bermanfaat
2. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku dosen pembimbing tugas akhir kedua yang memberi arahan dan dukungan selama proses tugas akhir ini berlangsung.
3. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST, M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
4. Ibu Diah Susanti, S.T., M.T., PhD sebagai dosen wali

Penulis menyadari adanya keterbatasan didalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saram dan kritik yang bersifat membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat bermanfaat. Amin

Surabaya, Juli 2016

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	2
I.3. Batasan Masalah.....	3
I.4. Tujuan Penelitian.....	3
I.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Baja.....	5
2.1.1. Baja Karbon Rendah.....	5
2.1.3. Baja Karbon Menengah.....	8
2.1.4. Baja Karbon Tinggi.....	9
2.2. Korosi.....	9
2.2.1. Klasifikasi Korosi.....	9
2.2.2. Mekanisme Korosi.....	11
2.2.3. Korosi pada Jaringan Pipa.....	12
2.2.4. Korosi pada Pipa Onshore.....	13

2.2.5.	Korosi Pipa Offshore	15
2.2.6.	Produk Korosi Seng	15
2.3.	Teknologi Pelapisan	16
2.4.	Elektroplating	17
2.4.1.	Proses Elektrolisis.....	17
2.4.2.	Hukum Faraday	19
2.4.3.	Seng Plating.....	20
2.4.4.	Logam Seng.....	23
2.5.	Serbuk Seng Sulfat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	28
2.6.	Pengujian Salt Spray.....	30
2.7.	Penelitian Sebelumnya	30

BAB III METODOLOGI DAN PENELITIAN

3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian	34
3.2.1.	Bahan Penelitian	34
3.2.2.	Alat Penelitian	35
3.3.	Metode Penelitian	40
3.4.	Prosedur Penelitian	40
3.4.1.	Preparasi Spesimen	40
3.4.2.	Persiapan Permukaan.....	40
3.4.3.	Pembuatan Larutan $ZnSO_4$	41
3.4.4.	Penyusunan Rangkaian Elektroplating	42
3.5.	Proses Elektroplating.....	42
3.6.	Pengujian Kekuatan Adhesi.....	43

3.7.	Pengujian SEM.....	44
3.8.	Pengujian Ketebalan.....	44
3.9.	Pengujian Laju Korosi.....	45
3.10.	Pengujian XRD.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Penampang Makro dan Mikro Hasil Elektroplating....	47
4.1.1	Penampang Makro.....	47
4.1.2.	Penampang Secara Mikro.....	47
4.2.	Pengukuran Ketebalan Hasil Proses Elektroplating....	52
4.3.	Pengujian Kekuatan Adhesi Lapisan <i>Coating</i>	54
4.4.	Pengujian Laju Korosi.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	Kesimpulan.....	63
5.2.	Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....		xxi
UCAPAN TERIMA KASIH		
BIOGRAFI		
LAMPIRAN		

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Korosi Galvanik.....	11
Gambar 2.2 Proses Terjadinya Korosi.....	13
Gambar 2.3 Korosi pada Jaringan Pipa Onshore	14
Gambar 2. 4 Hasil XRD Produl Korosi dari Baja Galvanising yang Telah Terpapar Selama 3 Bulan	16
Gambar 2.5 Skema Elektroplating Sederhana	19
Gambar 2.6 XRD Lapisan Deposit Seng (Zn).....	22
Gambar 2.7 Diagram Pourbaix Logam Seng.....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	33
Gambar 3.2 Anoda Grafit.....	34
Gambar 3.3 Asam Sulfat (H ₂ SO ₄)	35
Gambar 3.4 Serbuk Seng Sulfat (ZnSO ₄).....	35
Gambar 3.5 Alat Elektroplating (<i>Rectifier</i>)	36
Gambar 3.6 Alat Uji Ketebalan <i>Dry Film</i>	36
Gambar 3.7 Neraca Analitik (<i>Mettler Toledo</i>).....	37
Gambar 3.8 Alat Uji Kekuatan Adhesi PosiTest AT-M Adhesion Tester	37
Gambar 3.9 Alat Uji SEM dengan Merk Dagang FEI Inspect S50	38
Gambar 3.10 Kompresor	38
Gambar 3.11 Salt Spray Chamber	39
Gambar 3.12 Termocouple.....	39
Gambar 3.13 Alat Pemanas	39
Gambar 3.14 Alat Uji XRD.....	40
Gambar 3.15 Rangkaian Elektroplating.....	43
Gambar 3.16 Pull Off Test	44
Gambar 3.17 Pengujian Ketebalan	45
Gambar 4.1 (a) Spesimen Uji Sebelum dan (b) Sesudah Proses Elektroplating.....	47

Gambar 4.2 Penampang Mikro 500x : (a) 30V, (b) 35V, (c) 40 V dan (d) 45 V	48
Gambar 4.3 (a) Grafik Tegangan (<i>volt</i>) terhadap Porosity dan (b) Skema Terjadinya Porositas	49
Gambar 4.4 Lapisan Deposit (<i>coating</i>).....	51
Gambar 4.5 Grafik XRD Spesimen Coating Seng (Zn).....	52
Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Tegangan (<i>volt</i>) Terhadap Ketebalan Lapisan.....	54
Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Tegangan Terhadap Kekuatan Adhesi	55
Gambar 4.8 Spesimen Sebelum (a) dan Sesudah (b) Korosi	57
Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Tegangan (<i>volt</i>) terhadap Laju Korosi Metode <i>Salt Spray</i>	58
Gambar 4. 10 Hubungan Porositas dan Laju Korosi (a) Satu Lapisan, (b) Dua Lapisan dan (c) Tiga Lapisan	59
Gambar 4. 11 Hasil XRD Setelah Korosi	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kimia PSL 1	7
Tabel 2.2 Komposisi Kimia PSL 2	7
Tabel 2.4 Kekuatan Tarik PSL 2	8
Tabel 2.3 Kekuatan Tarik PSL 1	8
Tabel 2.5 Nilai Konstanta untuk Setiap Satuan Unit	11
Tabel 2.6 Karakteristik Logam Seng	25
Tabel 2.7 Potensial Reduksi Baku	26
Tabel 3.1 Komposisi Kimia API 5L Grade B	34
Tabel 4.1 Porositas pada Permukaan Spesimen <i>Coating</i>	49
Tabel 4.2 Ketebalan Lapisan <i>Coating</i> Tiap Variasi Tegangan ...	53
Tabel 4.3 Nilai Kekuatan adhesi Lapisan Deposit Seng (Zn)	55
Tabel 4.4 Laju Korosi pada Weight Loss Salt Spray	58

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Seiring berkembangnya zaman khususnya dunia industri tidak terlepas dari penggunaan baja sebagai bahan konstruksi. Terlebih pada industri perminyakan dan gas dengan jaringan pipa terbuat dari logam tersebut. Pada umumnya baja yang dipergunakan ialah baja karbon rendah. Hal ini disebabkan karena baja karbon memiliki sifat mekanik yang baik dan juga harga ekonomis. (Nabhani, 2007) . Baja karbon rendah rentan terhadap korosi di lingkungan udara, air, atau tanah. Korosi ini terjadi karena baja melepaskan elektron sehingga menyebabkan baja menjadi teroksidasi. Baja yang teroksidasi menjadi lemah dan rapuh, dan tidak bisa menahan beban yang seharusnya ditanggung oleh suatu struktur baja, oleh karena itu korosi dapat mengurangi kekuatan struktur baja karbon rendah seperti pipa. Akan tetapi baja karbon rendah dapat dilindungi dari korosi dengan pelapisan (*coating*). (Kiefner, 2001).

Pelapisan baja dengan menggunakan logam dapat dilakukan dengan berbagai metoda salah satunya ialah yaitu electroplating atau juga dikenal dengan pencelupan dingin. Pelapisan ini menggunakan arus listrik searah. Dengan cara kerja yang mirip elektrolisa, dimana logam pelapis seng bertindak sebagai anoda sedangkan logam dasar (spesimen) sebagai katoda (Yerikho, 2013). Selain tampilan hasil pelapisan, terdapat faktor dalam memilih electroplating seperti ketahanan dan perlindungan terhadap korosi. Karena pada kondisi tertentu, ketahanan terhadap korosi adalah hal utama (Edward, 1983). Pelapisan yang dimaksud ialah *surface coating* (pelapisan permukaan) yaitu proses mengubah permukaan material dalam mencapai sifat seperti kekerasan yang tinggi, ketahanan aus, ketahanan suhu tinggi dan ketahanan korosi, tanpa ada perubahan yang signifikan terhadap karakteristik pada struktur.



Elektroplating merupakan salah satu bentuk *surface coating* (pelapisan permukaan yang menghasilkan lapisan yang padat, homogen dan lekat berupa logam atau paduan yang melekat pada permukaan dengan menggunakan arus listrik. Lapisan yang dihasilkan biasanya untuk tujuan dekoratif, pelindung serta meningkatkan sifat secara spesifik pada permukaan. Permukaan yang terbentuk berupa konduktor seperti logam atau non konduktor seperti plastik. Bagian inti dari proses *electroplating* ialah sel elektrolit (*elektroplating unit*). Pada sel elektrolit (*electroplating unit*), arus melewati *bath* yang mengandung elektrolit, anoda dan katoda. Selain itu, dalam industri produksi tahap *pre-treatment* dan *post-treatment* biasanya diperlukan juga (Lou,2006).

Seng merupakan logam yang sering digunakan untuk melapisi logam lain, salah satunya baja karbon rendah. Aplikasi seng pada pelapisan logam, khususnya baja, dimanfaatkan sebagai *sacrificial anode*. Sifat perlindungan *sacrificial* ini dapat diartikan bahwa lapisan seng bersifat anodis terhadap logam dasarnya. Seandainya ada pori-pori yang terjadi pada lapisan, karena logam pelapis lebih reaktif terhadap lingkungan dari pada logam dasar (Fe) maka reaksi pada logam dasar tidak berlangsung. Dari segi biaya produksi, pelapisan seng relatif lebih rendah dibandingkan dengan logam lain yang dapat dipakai untuk melindungi baja atau besi dari serangan korosi yaitu cadmium (Cd), Copper (Cu), dan chromium (Cr). Dari beberapa karakteristik dan sifat pelapisan seng dengan metoda *electroplating*, sifat perlindungan *sacrificial* yang baik dan biaya produksi yang relatif murah, hal tersebut mendorong pelapisan seng banyak digunakan secara komersil (Yerikho, 2013).

I.2. Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan terhadap ketebalan lapisan coating?
2. Bagaimana pengaruh variasi tegangan terhadap kekuatan adhesi lapisan coating?
3. Bagaimana pengaruh variasi tegangan terhadap ketahanan



korosi baja karbon rendah dengan metode elektroplating?

I.3. Batasan Masalah

Agar penelitian dan pembahasan menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisis permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan sebagai berikut :

1. Konsentrasi dari elektrolit yang digunakan dianggap sama
2. Pengaruh lingkungan terhadap proses elektroplating diabaikan
3. Larutan elektrolit dianggap homogen
4. Temperatur proses dianggap konstan
5. Jarak anoda dan katoda dianggap sama

I.4. Tujuan Penelitian

Tujuan pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh variasi tegangan terhadap ketebalan lapisan coating
2. Menganalisis pengaruh variasi tegangan terhadap kekuatan adhesi lapisan coating
3. Menganalisis pengaruh variasi tegangan terhadap ketahanan korosi baja karbon rendah dengan metode elektroplating

I.5. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Didapatkan tegangan optimal yang dapat digunakan pada elektrolit $ZnSO_4$ melalui metode electroplating
2. Melalui hasil penelitian dapat diketahui pengaruh variasi tegangan terhadap ketebalan lapisan *coating*, kekuatan adhesi, dan ketahanan korosi dari lapisan yang dihasilkan pada proses elektroplating.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Baja

Pada dasarnya, semua baja adalah paduan dari besi dan karbon. Baja karbon memiliki jumlah dengan persentase rendah dari mangan dan silikon serta mengandung fosfor dan sulfur yang juga rendah. Kandungan karbon dari baja karbon maksimal 2,0%, namun paduan dengan kandungan seperti ini jarang ditemukan. Kandungan karbon dari baja komersial biasanya berkisar dari 0,05 sampai sekitar 1,0%. Mekanisme paduan besi dan karbon berbeda dari sistem paduan pada umumnya dan pada paduan dari besi dan karbon terjadi dua tahap. Pada tahap awal, besi bergabung dengan 6.67% C, membentuk karbida besi, yang disebut sementit. Dengan demikian pada temperatur kamar, baja konvensional terdiri dari campuran sementit dan ferit. Ketika baja dipanaskan di atas temperatur 725°C (1340°F), sementit larut dalam matriks dan fase baru terbentuk yang disebut austenit. Hanya ada tiga fase yang ada yaitu ferit, karbida (sementit), dan austenit (ASM, 2006).

2.1.1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon kurang dari 0,25% C. baja karbon rendah adalah jenis yang paling umum dengan harganya yang relatif rendah serta jenis baja yang dapat diaplikasikan pada banyak hal. Baja ini bersifat ulet karena kandungan karbon yang rendah. Jenis ini memiliki kekuatan tarik rendah (*tensile strength*) dan mudah dibentuk (Jaypuria, 2008).

Pipa untuk pembangunan jaringan pipa minyak dan gas terbuat dari baja, khususnya baja karbon rendah atau baja paduan rendah. Kedua jenis baja tersebut terdiri dari besi (98-99 % Fe), tapi dengan kandungan karbon rendah (0,001-0,30 %), mangan (0,30-1,50%), dan elemen paduan lain sengaja ditambahkan dengan jumlah kecil yaitu (columbium, molibdenum, vanadium, titanium) agar didapat efek menguntungkan pada kekuatan dan ketangguhan. Baja karbon atau baja paduan rendah cocok untuk perpipaan dan struktur baja lainnya seperti bangunan atau



jembatan karena mampu menahan beban diterima pada struktur (Kiefner, 2001).

Beberapa standar material untuk pipa sudah ditentukan oleh badan-badan internasional seperti *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan *American Petroleum Institute* (API), sedangkan untuk API hanya mengeluarkan standar yang bergerak di bidang perminyakan, API juga merupakan lembaga yang menyediakan produk dan melakukan pengembangan untuk produk tersebut pada spesifikasi di bidang perminyakan, untuk *pipeline* sendiri API mengeluarkan standar *Specification for Line Pipe: API 5L*.

Specification for Line Pipe: API 5L Spesifikasi untuk *pipeline*, spesifikasi ini dimaksudkan untuk menyediakan standar pipa yang sesuai dalam aplikasi penyaluran gas, air, dan minyak baik dalam industri minyak maupun gas alam. Spesifikasi ini meliputi pipa tanpa sambungan maupun baja pipa lasan.

Spesifikasi kebutuhan ditetapkan untuk dua produk tingkat spesifikasi atau *Product Specification Level* (PSL) yaitu PSL 1 dan PSL 2. Dua PSL ini dibuat berdasarkan perbedaan tingkat pada standar kebutuhan teknik. PSL 2 harus memiliki kesesuaian atau kebutuhan untuk karbon yang setara, ketangguhan, kekuatan yield maksimum, dan kekuatan tarik maksimum. Grade yang ada berdasarkan standar yang ada adalah grade A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70 dan X80. Untuk pipa PSL 1 ada pada grade A25 sampai X70, dan pipa PSL 2 ada pada grade B sampai X80. Dapat dilihat pada tabel 2.1 sampai 2.4 komposisi kimia dan nilai kekuatan tarik API 5L (Institute, 2004)



Tabel 2.1 Komposisi Kimia PSL 1 (Institute, 2004)

(1)	(2)	(3)	(4)		(5)	(6)	(7)
Grade & Class	Carbon, Maximum ^a	Manganese, Maximum ^a	Phosphorus		Sulfur, Maximum	Titanium, Maximum	Other
			Minimum	Maximum			
Seamless							
A25, Cl I	0.21	0.60		0.030	0.030		
A25, Cl II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030		
A	0.22	0.90		0.030	0.030		
B	0.28	1.20		0.030	0.030	0.04	b, c, d
X42	0.28	1.30		0.030	0.030	0.04	c, d
X46, X52, X56	0.28	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X60 ^f	0.28	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X65 ^f , X70 ^f	0.28	1.40		0.030	0.030	0.06	c, d
Welded							
A25, Cl I	0.21	0.60		0.030	0.030		
A25, Cl II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030		
A	0.22	0.90		0.030	0.030		
B	0.26	1.20		0.030	0.030	0.04	b, c, d
X42	0.26	1.30		0.030	0.030	0.04	c, d
X46, X52, X56	0.26	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X60 ^f	0.26	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X65 ^f	0.26	1.45		0.030	0.030	0.06	c, d
X70 ^f	0.26	1.65		0.030	0.030	0.06	c, d

Tabel 2.2 Komposisi Kimia PSL 2 (Institute, 2004)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Grade	Carbon, Maximum ^a	Manganese, Maximum ^a	Phosphorus, Maximum	Sulfur, Maximum	Titanium, Maximum	Other
B	0.24	1.20	0.025	0.015	0.04	c, d, e
X42	0.24	1.30	0.025	0.015	0.04	c, d
X46, X52, X56, X60 ^f	0.24	1.40	0.025	0.015	0.04	c, d
X65 ^f , X70 ^f , X80 ^f	0.24	1.40	0.025	0.015	0.06	c, d
Welded						
B	0.22	1.20	0.025	0.015	0.04	c, d, e
X42	0.22	1.30	0.025	0.015	0.04	c, d
X46, X52, X56	0.22	1.40	0.025	0.015	0.04	c, d
X60 ^f	0.22	1.40	0.025	0.015	0.04	c, d
X65 ^f	0.22	1.45	0.025	0.015	0.06	c, d
X70 ^f	0.22	1.65	0.025	0.015	0.06	c, d
X80 ^f	0.22	1.85	0.025	0.015	0.06	c, d



Tabel 2.3 Kekuatan Tarik PSL 1 (Institute, 2004)

(1) Grade	(2) Yield Strength, Minimum		(3) Ultimate Tensile Strength, Minimum		(4) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	psi	MPa	psi	MPa	
A25	25,000	(172)	45,000	(310)	a
A	30,000	(207)	48,000	(331)	a
B	35,000	(241)	60,000	(414)	a
X42	42,000	(290)	60,000	(414)	a
X46	46,000	(317)	63,000	(434)	a
X52	52,000	(359)	66,000	(455)	a
X56	56,000	(386)	71,000	(490)	a
X60	60,000	(414)	75,000	(517)	a
X65	65,000	(448)	77,000	(531)	a
X70	70,000	(483)	82,000	(565)	a

Tabel 2.4 Kekuatan Tarik PSL 2 (Insitute, 2004)

(1) Grade	(2) Yield Strength, Minimum		(3) Yield Strength, Maximum ^b		(4) Ultimate Tensile Strength, Minimum		(5) Ultimate Tensile Strength, Maximum ^c		(6) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	
B	35,000	(241)	65,000 ^d	(448)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X42	42,000	(290)	72,000	(496)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X46	46,000	(317)	76,000	(524)	63,000	(434)	110,000	(758)	a
X52	52,000	(359)	77,000	(531)	66,000	(455)	110,000	(758)	a
X56	56,000	(386)	79,000	(544)	71,000	(490)	110,000	(758)	a
X60	60,000	(414)	82,000	(565)	75,000	(517)	110,000	(758)	a
X65	65,000	(448)	87,000	(600)	77,000	(531)	110,000	(758)	a
X70	70,000	(483)	90,000	(621)	82,000	(565)	110,000	(758)	a
X80	80,000	(552)	100,000 ^e	(690)	90,000	(621)	120,000	(827)	a

2.1.3. 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

2.1.4. 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).

2.2. Korosi

Korosi adalah serangan yang merusak logam melalui reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi dengan lingkungannya. Kerusakan fisik tidak disebut korosi, tetapi digambarkan sebagai erosi, *galling*, atau aus. Kerusakan pada selain logam, tidak termasuk dalam definisi korosi. Plastik dapat sobek, kayu dapat mengalami pembusukan, granit dapat terkikis, dan semen dapat runtuh, sehingga dibatasi untuk serangan kimia pada logam. "Berkarat" berlaku untuk korosi pada besi atau besi dengan paduannya melalui proses pembentukan produk korosi yang sebagian besar terdiri dari oksida besi. Selain itu juga terjadi kerjasama antara ilmuwan dengan insinyur korosi dengan pembagian peran dalam penanganan korosi. Ilmuwan korosi mempelajari mekanisme korosi untuk meningkatkan (a) pemahaman penyebab korosi dan (b) cara-cara untuk mencegah atau setidaknya meminimalkan kerusakan yang disebabkan oleh korosi. Insinyur korosi menggunakan ilmu dari ilmuwan korosi untuk mengendalikan korosi. (Revie, 2008).

2.2.1. Klasifikasi Korosi

Korosi telah diklasifikasikan dalam berbagai bentuk. Salah satu metode mengklasifikasikan ialah menjadi korosi pada temperatur rendah dan korosi temperatur tinggi. Metode lain membagi dua yaitu : proses korosi langsung (oksidasi) dan korosi



elektrokimia. Klasifikasi di sini adalah (1) korosi kondisi basah (*wet corrosion*) dan (2) korosi kondisi kering (*dry corrosion*).

Korosi basah terjadi pada suatu cairan. Hal ini biasanya melibatkan larutan cair atau elektrolit dan memberi dampak terbesar terjadinya korosi. Sebuah contoh umum adalah korosi baja oleh air. Korosi kering terjadi karena tidak adanya fasa cair atau di atas titik embun dari lingkungan. Uap dan gas biasanya menyebabkan korosi. Korosi kering yang paling sering dikaitkan dengan temperatur tinggi. Contohnya adalah kerusakan pada baja oleh gas dari tungku (*furnace*).

Adanya air dengan jumlah kecil mampu mempengaruhi bentuk korosi sepenuhnya. Misalnya, zat klor kering sesungguhnya tidak bersifat korosif terhadap baja, tetapi klorin yang lembab, atau klorin yang dilarutkan dalam air, sangat korosif dan memberikan kerusakan pada sebagian besar logam biasa maupun paduan. Pada keadaan sebaliknya untuk gas klorin titanium-kering lebih korosif dari klorin yang basah. (Fontana, 1987)

Suatu material yang mengalami korosi dapat dilihat nilai laju korosinya berdasarkan selisih massa antara massa awal dengan massa setelah mengalami korosi. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.1

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \dots\dots\dots(2.1)$$

- Dimana :
- K = Konstanta
 - T = Waktu paparan (Jam)
 - A = Luas Permuakaan (cm²)
 - W = Masa yang hilang (Gram)
 - D = Denstitas Spesimen (g/cm³)



Sedangkan konstanta yang dipergunakan dalam perhitungan laju korosi terdapat berbagai macam. Seperti tabel 2.5

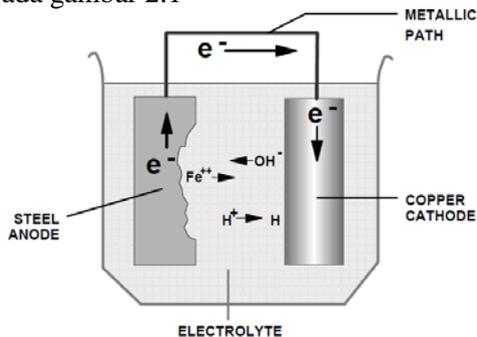
Tabel 2.5 Nilai Konstanta untuk Setiap Satuan Unit

Corrothion rate units desired	Constant (K) in Corrosion Rate Equation
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 (g/h 2 .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)

2.2.2. Mekanisme Korosi

Terdapat dua mekanisme dasar dimana logam mengalami korosi salah satunya yaitu korosi galvanik. Berikut ini mekanismenya pada gambar 2.1



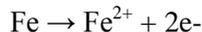
Gambar 2.1 Korosi Galvanik (Bushman, 2010)



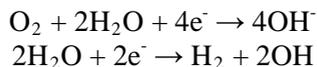
2.2.3. Korosi pada Jaringan Pipa

Meskipun ada berbagai definisi korosi, definisi yang digunakan oleh NACE International (NACE), organisasi utama yang bergerak dalam industri korosi, adalah kerusakan suatu material, biasanya logam, yang dihasilkan dari reaksi dengan lingkungannya." Korosi pada pipa, dengan logam yang digunakan pada jaringan pipa ialah baja, terutama terdiri dari besi dengan satu sampai dua persen paduan untuk emingkatkan kekuatan dan ketangguhan (paduan telah ditentukan secara proporsional dan pada dasarnya tidak ada hubungan dengan proses korosi). Pada mekanisme korosi eksternal, lingkungan berupa air tanah atau tanah lembab untuk jaringan pipa di daratan dan lingkungan berupa air laut untuk jaringan pipa lepas pantai. Sedangkan mekanisme korosi internal, lingkungan berupa air yang mengandung natrium klorida atau garam, hidrogen sulfida, bahkan karbon dioksida. Kerusakan yang terjadi mengakibatkan terlepasnya ion besi ke lingkungan, Sehingga dapat mengurangi kekuatan pipa.

Ketika besi terlarut, maka selanjutnya menjadi bermuatan positif. Proses, direpresentasikan sebagai berikut, yang disebut sebagai reaksi anodik.



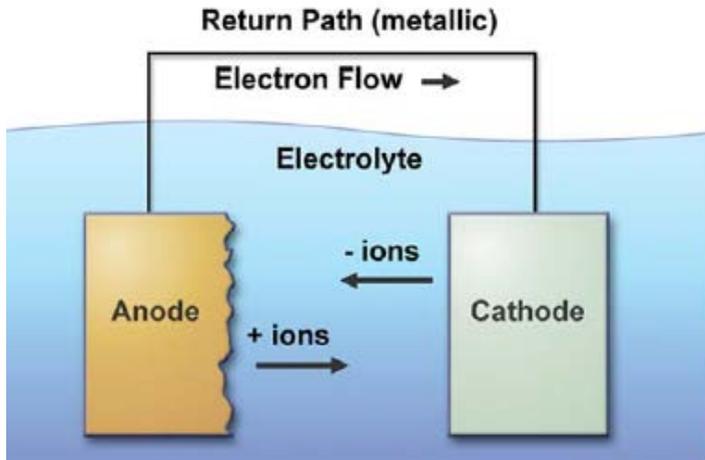
Elektron dihasilkan dari reaksi yang bergerak dari pipa logam menuju lokasi lain sehingga terjadi reaksi yang menghasilkan ion hidroksil. Reaksi spesifik yang terjadi tergantung dari elektrolit alam, salah satu bentuk reaksinya ialah sebagai berikut :



Reaksi yang tertulis diatas adalah salah satu bentuk dari reaksi katodik. Perpindahan ion pada elektrolit melengkapi terbentuknya suatu rangkaian listrik. Ion besi biasanya bereaksi dengan air dan oksigen untuk membentuk deposit karat atau



disebut sebagai oksida besi, namun, dalam beberapa kasus, ion besi bereaksi dengan karbon dioksida atau hidrogen sulfida untuk membentuk besi karbonat atau besi sulfida. Anoda dan katoda komponen dari sel korosi dapat bersebelahan atau terpisah. (Baker, 2008). Proses terjadinya korosi ditunjukkan gambar 2.2



Gambar 2.2 Proses Terjadinya Korosi (Baker, 2008)

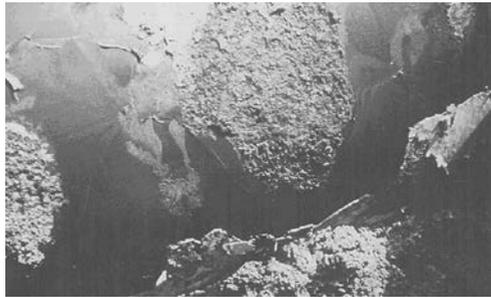
2.2.4. Korosi pada Pipa Onshore

Terdapat korelasi antara karakteristik tanah dan tingkat korosifnya berdasarkan penelitian dan pengalaman di lapangan. Proses korosi terjadi melalui gerakan ion melalui elektrolit (tanah), faktor-faktor yang meningkatkan konduktivitas listrik pada tanah cenderung meningkatkan sifat korosivitasnya. Dengan demikian, tingkat kelembaban yang tinggi, drainase yang buruk, dan kandungan garam yang tinggi cenderung meningkatkan sifat korosivitasnya. Kandungan oksigen yang tinggi juga cenderung meningkatkan korosi. Namun, sifat korosivitas hanya salah satu dari banyak faktor atau bahkan bukan faktor utama, yang menentukan laju korosi eksternal pada pipa.

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi laju korosi eksternal adalah perbedaan karakteristik tanah dari suatu tempat



ke tempat lain di sepanjang jaringan pipa, serta dari lapisan atas ke lapisan bawah. Perbedaan aerasi, kadar air, dan komposisi tanah di beberapa area dapat mendorong terjadinya korosi. Meskipun konduktivitas tanah rendah tetapi menunjukkan tingkat korosi yang relatif rendah, kondisi ini juga menghambat aliran arus perlindungan katodik untuk pipa sehingga dengan demikian dapat memicu korosi pada jaringan pipa ke tingkat yang tinggi daripada yang diperkirakan, seperti gambar 2.3 (Baker, 2008)



Gambar 2.3 Korosi pada Jaringan Pipa Onshore (Baker, 2008)

Tipe tanah juga mempengaruhi laju kerusakan pada pelapisan (*coating*). Salah satu contohnya tanah liat yang tebal dapat menggerus lapisan (*coating*) dari permukaan pipa ketika tanah tersebut mengembang dan mengerut berdasarkan perubahan kadar air. Tanah berbatu, meski memiliki kondisi yang kering dengan tingkat korosivitas yang rendah, memiliki kemungkinan untuk menusuk lapisan (*coating*) serta dengan resistivitas yang tinggi dapat memblokir arus proteksi katodik pada pipa di beberapa lokasi.

Jika ada jaringan pipa lainnya di sebuah area, arus proteksi katodik di dalam tanah akan menuju ke atau dari pipa kedua bergerak ke atau dari pipa pertama. Suatu area dengan arus yang telah hilang pada pipa pertama akan bersifat sangat anodik. Hal ini berdasarkan faktor sebagai berikut dua faktor yang paling penting dalam mengurangi atau mencegah terjadinya korosi eksternal pada pipa adalah tingkat proteksi katodik dan kualitas lapisan (*coating*) pada pipa (Baker, 2008)

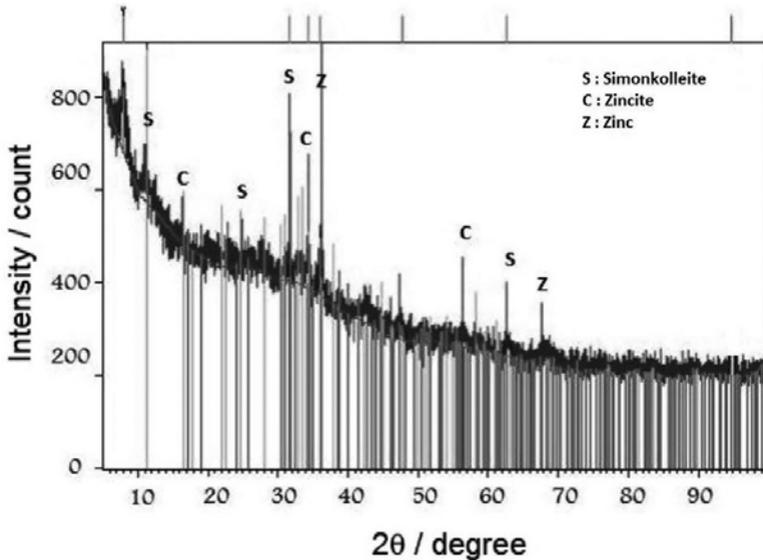


2.2.5. Korosi Pipa Offshore

Proses korosi eksternal pada pipa *onshore* yang terkubur jelas berbeda dengan korosi eksternal pada pipa *offshore* eksternal pipa lepas pantai. Meskipun air laut jauh lebih korosif dari lingkungan tanah, ada beberapa kasus korosi eksternal pada jaringan pipa lepas pantai terjadi sangat langka. Kemampuan untuk mengendalikan korosi eksternal telah dikuasai, sebanding dengan kemampuan pengendalian korosi pada pipa *onshore*. Hal ini terutama karena homogenitas lingkungan lepas pantai, perkiraan lama tahan lapisan (*coating*) dan proteksi katodik. Lingkungan lepas pantai sangat homogen dalam hal komposisi dan memiliki konduktivitas yang tinggi, sehingga memungkinkan keseragaman dan efektifnya proteksi katodik yang terjadi. Selain itu, lingkungan bersifat basa yang dihasilkan oleh proteksi katodik menyebabkan munculnya endapan kapur (terutama magnesium karbonat) lalu mengendap di lapisan (*coating*) yang berlubang, sehingga mampu menyekat baja dari air. Kegagalan yang terjadi pada pipa lepas pantai, pada bagian riser didominasi oleh korosi. Terjadinya kondisi basah dan kering di *splash zone* serta dikombinasikan dengan cacat pada lapisan (*coating*) merupakan sumber untuk masalah ini. (Baker, 2008)

2.2.6. Produk Korosi Seng

Logam seng pada kondisi lingkungan laut mengalami serangan korosi dan menghasilkan produk korosi berupa senyawa simonkolleite ($Zn_5(OH)_8Cl_2 \cdot H_2O$). Simonkolleite merupakan produk korosi yang umumnya terbentuk ketika terpapar pada kondisi lingkungan laut. Struktur heksagonal simonkolleite terlihat tak berurutan (*discontinuous*) terdistribusi seperti “daratan” pada permukaan substrat (seng) dan kestabilan senyawa ini bergantung pada konsentrasi ion klorit dan pH lingkungan. Hasil XRD dari senyawa simonkolleite ditunjukkan oleh gambar 2.4 (Vera, 2013).



Gambar 2. 4 Hasil XRD Produl Korosi dari Baja Galvanising yang Telah Terpapar Selama 3 Bulan (Vera, 2013)

2.3. Teknologi Pelapisan

Pelapisan menggunakan logam maupun bahan anorganik dapat memberikan penghalang/penyekat antara logam dan lingkungannya. Fungsi lapisan tersebut adalah (selain sebagai pelapisan korban seperti logam seng) juga untuk memberikan penghalang/penyekat yang efektif. Bentuk pelapisan dari logam yang telah diterapkan, seperti elektrodeposisi, *flame spraying*, *cladding*, *hot dipping*, dan *vapor deposition*. Pelapisan anorganik diterapkan dilakukan dengan penyemprotan, proses difusi, atau konversi kimia. Penyemprotan biasanya diikuti oleh proses *baking* atau *firing* pada temperatur yang tinggi. Sedangkan pelapisan dari logam (*metal coating*) biasanya meningkatkan beberapa sifat seperti mampu dibentuk, sedangkan pelapisan anorganik cenderung rapuh. Pada kedua pelapisan tersebut harus mampu menghasilkan perlindungan (*barrier*). Hal ini karena jika terdapat porositas atau lainnya yang bersifat cacat dapat mengakibatkan kerusakan di suatu titik pada logam dasar karena efek bimetal efek. Contoh pelapisan dari logam ialah pada yang



bumper mobil dan trim, peralatan rumah tangga dan perlengkapan lainnya. (Fontana, 1987)

2.4. Elektroplating

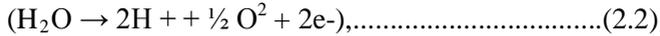
Salah satu bentuk *surface coating* (pelapisan permukaan) ialah elektroplating yang merupakan proses elektrodposisi untuk menghasilkan lapisan yang padat, homogen dan lekat berupa logam atau paduan yang melekat pada permukaan dengan menggunakan arus listrik. Lapisan yang dihasilkan biasanya untuk tujuan dekoratif, pelindung serta meningkatkan sifat secara spesifik pada permukaan. Permukaan yang terbentuk berupa konduktor seperti logam atau non konduktor seperti plastik. Bagian inti dari proses *electroplating* ialah sel elektrolit (*electroplating unit*). Pada sel elektrolit (*electroplating unit*), arus melewati *bath* yang mengandung elektrolit, anoda dan katoda. Selain itu, dalam industri produksi tahap *pre-treatment* dan *post-treatment* biasanya diperlukan juga. Benda kerja yang akan dilapisi adalah katoda (kutub negatif). Sedangkan anoda, dapat menjadi salah satu dari dua jenis yaitu : anoda korban (anoda yang akan terlarut) dan anoda permanen (anoda inert). Anoda korban terbuat dari logam yang selanjutnya dideposisikan kandungan logamnya. Anoda permanen hanya berperan untuk melengkapi rangkaian listrik, tetapi tidak dapat menyediakan sumber logam untuk dideposisikan pada katoda. Platinum dan karbon biasanya digunakan sebagai anoda inert. (Lou, 2006)

2.4.1. Proses Elektrolisis

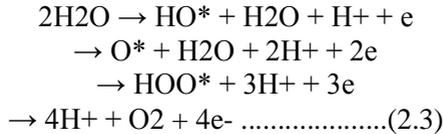
Pada sel plating sederhana ini menggambarkan apa yang terjadi selama proses *electroplating*. Dalam hal proses *electroplating* (EG), anoda adalah seng, katoda adalah baja, dan elektrolit berupa seng sulfat (proses yang sama menggunakan seng klorida). Daya listrik disediakan oleh sumber DC. Pada anoda, seng teroksidasi (kehilangan 2 elektron) dan larut sebagai kation dalam elektrolit. Pada katoda baja, kation seng menggabungkan dengan 2 elektron (reduksi) dan bentuk unsur seng, yang selanjutnya terdeposit ke permukaan baja. (Galvinfo, 2014)



Tahapan elektroplating ialah sebagai berikut dan skema elektroplating sederhana seperti gambar 2.5



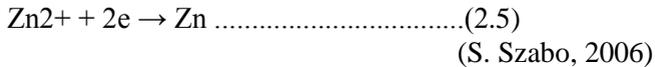
Bagian anoda mengalami rekasi oksidasi yang menghasilkan elektron. Dari rangkaian elektrolisis selanjutnya mengalirkan elektron menuju katoda. anoda yang dipergunakan merupakan anoda inert dan terjadi aliran arus menuju anoda sehingga timbul reaksi berupa reaksi oksidasi (dekomposisi) air yaitu perubahan air menjadi ion oksigen untuk menjaga keseimbangan listrik sehingga akan terbentuk gas oksigen. Reaksi yang terjadi seperti persmaan reaksi 2.3

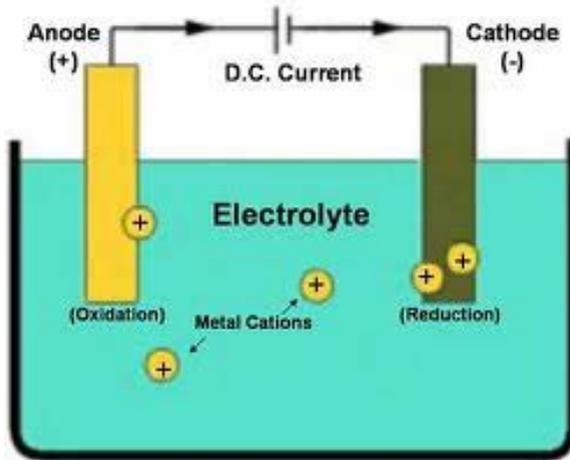


Bagian katoda mengalami proses mengonsumsi elektron dari anoda sehingga pada katoda terjadi reaksi reduksi karena adanya penambahan elektron. Reaksi reduksi yang terjadi adalah dari ion hidrogen, seperti persamaan reaksi 2.4



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





Gambar 2.5 Skema Elektroplating Sederhana (Galvinfo, 2014)

2.4.2. Hukum Faraday

Prinsip atau teori dasar dari elektroplating adalah berpedoman atau berdasarkan Hukum Faraday yang menyatakan:

- a. Jumlah zat yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.
- b. Jumlah zat yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan beratnya ekivalen masing-masing zat tersebut. Pernyataan Faraday dapat ditulis dengan ketentuan atau rumus seperti berikut ini :

(Yerikho, 2013)

Faraday menemukan hubungan antara produk suatu endapan dengan jumlah arus yang dipakai untuk mengendapkannya (Abdul Rasyad, 2011). Hukum Faraday dapat dituliskan pada persamaan 2.6.

$$W = \frac{e \cdot I \cdot t}{96500} \dots\dots\dots(2.6)$$

Di mana,



W = Berat endapan pelapis (gram)
I = Arus listrik (ampere)
t = Waktu (detik)
(Abdul Rasyad, 2011)

Hukum Faraday sangat erat kaitannya dengan efisiensi arus yang terjadi pada proses electroplating. Efisiensi arus adalah perbandingan berat endapan yang terjadi dengan berat endapan secara teoritis dan dinyatakan dalam persen. Bila di atas dijelaskan bahwa tegangan dalam electroplating diinginkan dalam kondisi konstan, maksud dari pernyataan tersebut adalah tegangan tidak akan berubah atau terpengaruh oleh besar kecilnya arus yang terpakai.

(Saleh, A.A., 1995)

2.4.3. Seng Plating

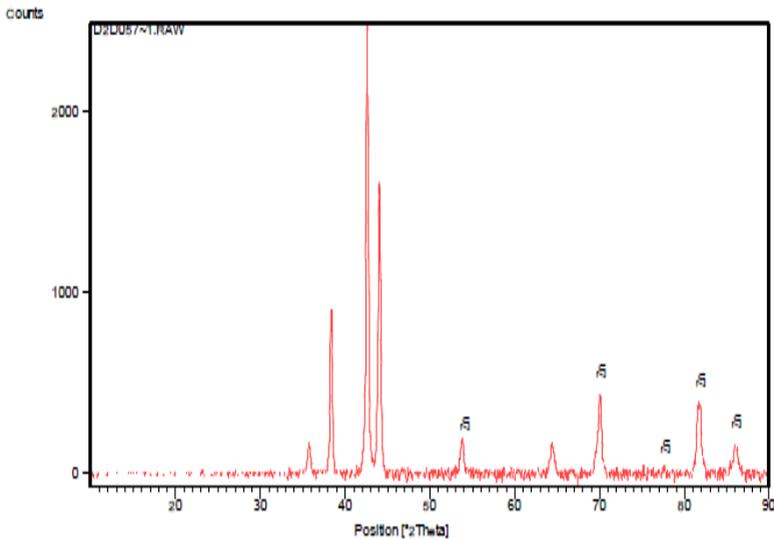
Seng dan paduannya telah digunakan selama lebih dari seratus tahun sebagai lapisan pelindung dan sebagai lapisan dekoratif melalui berbagai substrat logam, terutama baja. Selama bertahun-tahun telah ada sejumlah proses yang dikembangkan dalam penerapan lapisan seng yang bergantung pada substrat, persyaratan dalam proses pelapisan dan biaya. Dari beberapa proses tersebut, elektroplating adalah yang paling umum dipergunakan baik secara fungsional dan aplikasi dekoratif. Ketika memilih proses seng plating, penting untuk mengetahui proses apa yang tersedia dan mengetahui keuntungan dan kekurangan dari tiap proses. (Biddulph, 2011)

Seng plating juga identik dengan proses *electro galvanizing* karena keduanya adalah proses elektro-deposisi. Namun, seng plating digunakan pada komponen berukuran kecil seperti *fasteners*, *crank handles*, *springs* dan barang-barang yang berupa lembaran logam. Seng digunakan sebagai elektroda pada larutan sianida, alkaline non-sianida, atau larutan asam garam klorida. Sianida bath adalah media yang operasionalnya efisien tapi berpotensi dapat menghasilkan polusi dan cenderung berbahaya. Karakter pelapisan seng adalah berwarna abu-abu kusam, selain itu pelapisan yang tampak

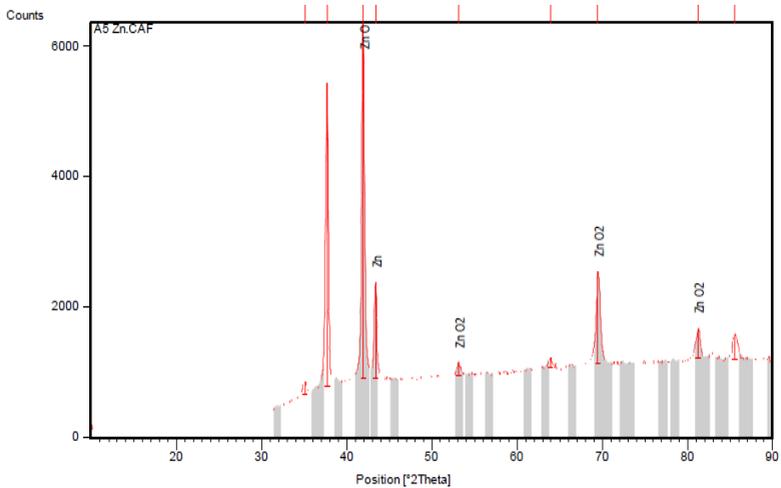
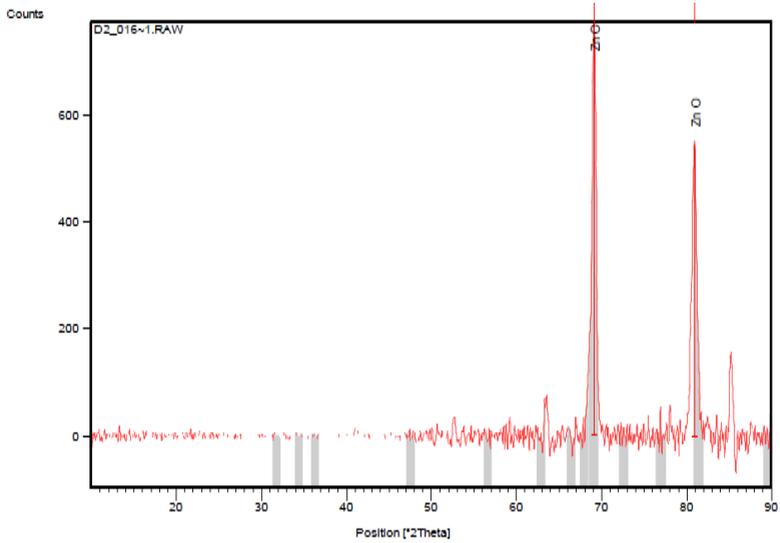


berkilau dapat dihasilkan berdasarkan pada proses atau agen yang ditambahkan ke *bath plating* atau melalui *post-treatment*. Lapisan seng murni cenderung tipis, dengan ketebalan maksimal (25 μm), dan secara mekanis terikat ke permukaan dengan kekerasan sekitar sepertiga hingga setengah dari baja yang dilapisi. Seng plating biasanya digunakan untuk sekrup dan pengencang kecil lainnya, piringan tombol lampu, dan berbagai bagian kecil yang bersentuhan langsung dengan kondisi dalam ruangan atau pada kondisi sedikit korosif. (AGA Zn, 2011)

Selain itu, kandungan seng (*zinc*) di permukaan dari substrat terlapisi setelah proses elektroplating dapat dilihat berdasarkan hasil XRD pada gambar 2.6 :



(a)



(c)

Gambar 2.6 XRD Lapisan Deposit Seng (Zn) (Popola, 2012)



2.4.4. Logam Seng

Berabad sebelum diidentifikasi sebagai sebuah unsur, seng digunakan dalam pembuatan kuningan (paduan seng dan tembaga) dan pengobatan. Logam seng dan seng oksida yang diproduksi di India rentang waktu antara abad 11 dan 14 dan di Cina pada abad ke-17. Sfalerit (seng sulfida) adalah mineral bijih utama seng yang paling banyak dihasilkan di dunia, tetapi sejumlah mineral lain yang tidak mengandung sulfida, mengandung seng sebagai komponen utama. Pada awalnya sebagian besar produksi seng adalah dari non sulfida, Namun karena kandungan ini mulai sedikit, maka produksi bergeser ke sulfida. Dalam 30 tahun terakhir, kemajuan dalam metalurgi ekstraksi telah menimbulkan ketertarikan pada kandungan seng di mineral non sulfida. Logam seng yang telah dimurnikan berwarna putih kebiruan ketika dituang.

Logam seng bersifat keras dan getas pada rentang temperatur tertentu serta memiliki titik leleh dan titik didih yang cukup rendah. Ketika terkena paparan udara, Logam tersebut menghasilkan film oksida tipis berwarna abu-abu (patina), yang memiliki fungsi untuk menghambat oksidasi (korosi) pada suatu logam. Ketahanan suatu logam terhadap korosi merupakan karakteristik penting dalam penggunaan logam seng ini. Zinc merupakan logam keempat yang paling banyak dikonsumsi di dunia setelah besi, aluminium, dan tembaga. Logam ini memiliki sifat anti korosi yang kuat dan ikatan secara baik dengan logam lain. Dampaknya, sekitar satu-setengah dari seng yang dihasilkan digunakan dalam proses galvanizing, yang merupakan proses penambahan lapisan tipis seng pada besi atau baja untuk mencegah karatan. Penggunaan seng lainnya adalah sebagai paduan, seng dikombinasikan dengan tembaga untuk membentuk kuningan dan dengan logam lain untuk membentuk material yang selanjutnya digunakan pada mobil, komponen listrik, dan perlengkapan rumah tangga. Penggunaan logam seng selanjutnya ialah memproduksi seng oksida yang digunakan dalam pembuatan karet dan sebagai salep pelindung kulit. (Kropschot, 2011)



2.4.4 Penggunaan Logam Seng

Awal penggunaan untuk seng adalah untuk menghasilkan kuningan untuk pembuatan perhiasan, peralatan rumah tangga, dan koin. Sifat ketahanan yang baik dari seng terhadap korosi atmosfer sehingga dipergunakan dalam produksi baja lembaran. Hal tersebut sejalan dengan kemampuan untuk melakukan *rolling* pada seng pada temperatur 100-150 ° C yang ditemukan pada tahun 1805, sedangkan *rolling mill* pertama dibangun di Belgia pada tahun 1812 oleh perusahaan dengan nama Dony. Sedangkan mill lainnya di Silesia pada rentang waktu dari 1821 dan seterusnya. *Hot-dip galvanizing*, yaitu proses anti korosi tertua, diperkenalkan pada tahun 1836 di Perancis. Proses ini memungkinkan untuk dipergunakan pada skala industri dengan kondisi yaitu adanya pengembangan proses yang efektif dalam pembersihan permukaan besi dan baja. Pada awalnya, hanya benda kerja kecil yang dilapisi seng. Kemudian proses *continouss hot-dip galvanizing* dipergunakan pada produk setengah jadi dan kawat ditemukan setelah itu.

Logam seng memiliki titik didih yang rendah yaitu 906°C (STP) yang penting dalam proses pyrometallurgical dalam produksi seng. Zinc dapat dipergunakan pada temperatur rendah yaitu 120°C, Logam ini memiliki deformabilitas baik sebagai dasar untuk beberapa penggunaannya. Pada rangkaian elektrokimia, seng lebih negatif daripada besi. Penggunaan seng sebagai anoda korban berdasarkan fakta ini. Penggunaan utama dari seng ialah melapisi besi untuk melindunginya dari korosi didasarkan pada pembentukan lapisan pelindung pasivasi berupa seng karbonat melalui reaksi dengan atmosfer.

Logam seng memiliki karakteristik seperti yang ditampilkan pada tabel 2.6 berikut



Tabel 2.6 Karakteristik Logam Seng (Habashi, 1997)

Relative atomic mass	65.39
Crystal structure, α -Zn	fcc (diamond type)
β -Zn	tetragonal
Transformation temperature	
α -Zn \rightleftharpoons β -Zn	286.2 K
Heat of transformation	1966 J/mol
Density of β -Zn at 20 °C	7.286 g/cm ³
at 100 °C	7.32
at 230 °C	7.49
Density of α -Zn at 25 °C	5.765 g/cm ³
Density of liquid zinc at 240 °C	6.993 g/cm ³
at 400 °C	6.879
at 800 °C	6.611
at 1100 °C	6.484
<i>mp</i>	505.6 K
Heat of melting	7029 J/mol
<i>bp</i>	2876 K
Heat of vaporization	295.8 kJ/mol
Vapor pressure at 1100 K	9.8×10^{-6} mbar
at 1800 K	7.5
at 2100 K	83.9
at 2400 K	512.0
Thermal conductivity of β -Zn at 0 °C	$0.63 \text{ Wcm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Electrical resistivity of α -Zn at 0 °C	$5 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$
β -Zn at 25 °C	11.15×10^{-6}
Superconductivity critical temperature	3.70 K

Seng memiliki keadaan oksidasi (2^+) dalam semua senyawanya. Logam ini membentuk senyawa kompleks dengan amonia, amina, dan sianida dan ion halida. Seng larut dalam asam mineral, biasanya diikuti evolusi hidrogen, tetapi dalam asam nitrat diikuti evolusi seng NO_x yang digunakan sebagai agen pereduksi kuat dalam proses kimia, terutama dalam bentuk bubuk atau butiran. Seng memiliki ketahanan terhadap udara karena terbentuknya lapisan pelindung. Logam ini juga tahan terhadap halogen, akan tetapi dengan cepat terkorosi oleh gas HCl. Karena luas permukaannya yang tinggi, debu seng jauh lebih reaktif dan bahkan bisa menjadi piroforik, misalnya, bereaksi cepat pada



temperatur tinggi dengan unsur-unsur oksigen, klorin, dan belerang. Seng klorida dan sulfat dapat larut dalam air, sedangkan dalam bentuk oksida, karbonat, fosfat, silikat, dan organik komple yang tidak larut atau sedikit larut. (Habashi, 1997)

Lapisan seng yang juga berperan sebagai pelapis mempunyai karakteristik ketahanan korosi yang baik, akan tetapi tidak dipergunakan dalam keperluan dekoratif (Protsenko, 2010). Kenyataan itu sesuai dengan kondisi logam seng yang 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 2.7.

Tabel 2.7 Potensial Reduksi Baku (Trethewey, 1991)

pasangan	E° / 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 yang dikenal sebagai lapisan deposit seng, dibentuk dari lapisan seng yang berfungsi sebagai pelapis. Lapisan deposit sangat penting dengan peran yaitu berupa lapisan



pasif (passive layer) yang selanjutnya bertindak sebagai pelindung dari lingkungan yang berupa air dan udara (Alia, 2011).

Sedangkan reaksi dari logam Seng serta pembentukan lapisan pasif dari logam Seng dengan kondisi lingkungan berupa air dan udara) sebagai berikut :

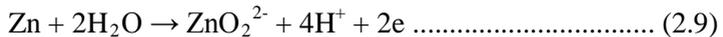
a. Reaksi biasa



b. Pembentukan seng hidroksida yang tak dapat larut



c. Pembentukan ion *zincate* yang larut dalam air

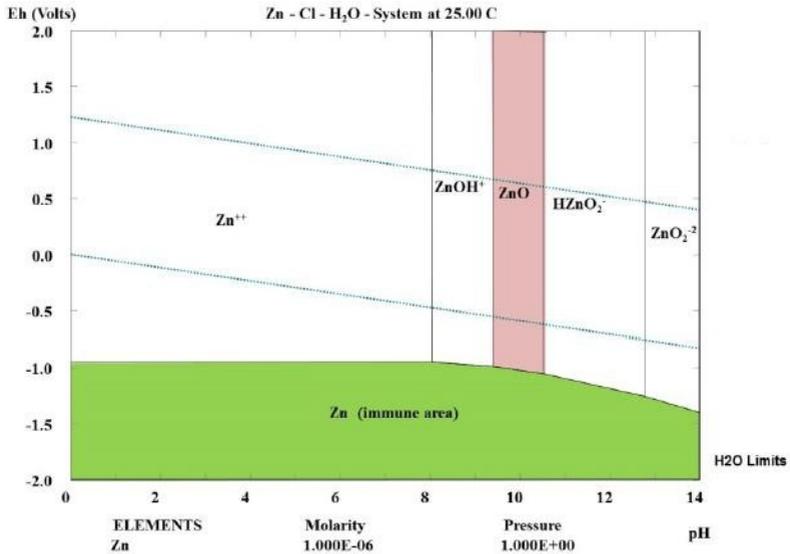


d. Pembentukan ion *zincate* dari seng hidroksida



Dalam tahap evaluasi laju korosi pada permukaan yang dilapisi oleh seng dengan kondisi terkena atmosfer dan temperatur yang berbeda, Akan tetapi dengan kondisi lapisan

Seng memiliki ketahanan yang baik dibandingkan dengan logam lainnya. Hal ini dibuktikan dengan lapisan pasif dari logam seng yang dapat dilihat pada Gambar 2.7 diagram pourbaix logam Seng.



Gambar 2.7 Diagram Pourbaix Logam Seng (Møller, 2013)

Sedangkan dalam tahapan untuk menggunakan lapisan seng sebagai perlindungan korosi, beberapa faktor tambahan harus diperhatikan untuk memastikan lapisan yang tepat dalam suatu lingkungan dan aplikasi lainnya. Setiap lapisan seng memberikan berbagai tingkat perlindungan korosi dan Hal itu penting untuk mengidentifikasi tingkat paparan korosif suatu lingkungan untuk memastikan lapisan yang dipilih agar dapat memberikan ketahanan yang memadai. Beberapa pelapis seng akan hilang oleh proses alami dengan alam, misalnya pelapis seng yang dalam prosesnya terbatas pada komponen-komponen kecil atau baja lembaran, lapisan ini tidak dapat dipergunakankan untuk lapisan pelindung dari jenis baja struktural; sementara yang faktor lain dapat dikesampingkan seperti biaya, penampilan, ketersediaan, kinerja, dll (AgaZn, 2011)

2.5. Serbuk Seng Sulfat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)

Seng sulfat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) merupakan bahan anorganik yang telah mengkristal melalui metode penguapan isothermal. $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ mudah larut dalam air dan juga didapatkan fakta



bahwa kelarutan meningkat hampir linear dengan peningkatan temperatur. Pada temperatur sekitar 34°C, kelarutan dari seng sulfat adalah 92,41 gm/50 ml. Berdasarkan pengamatan melalui alat FTIR pada sulfat seng berbentuk kristal murni untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsional. Sedangkan kristal yang mengalami pertumbuhan selanjutnya diuji melalui alat *powder X-ray diffraction* untuk menentukan dimensi *unit cell* dan struktur kristal. Didapatkan parameter kisi seperti berikut, $a = 9,9810 \text{ \AA}$, $b = 7,2500 \text{ \AA}$ dan $c = 24,2800 \text{ \AA}$. Melalui pengujian TGA dan DTA mengungkapkan bahwa kristal dapat tumbuh memiliki stabilitas termal yang baik. Hasil spektrum dari UV-vis menunjukkan bahwa bahan tersebut memiliki transparansi optik yang baik di area Ultra-violet.

Proses kristalisasi material sulfat heptahidrat seperti seng vitriol ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) yang memiliki kemurnian tinggi telah menjadi suatu penelitian penting dalam aplikasi akademik dan industri di berbagai bidang seperti kesehatan, industri pertanian dan kimia. Seng kristal sulfat murni dapat ditumbuhkan pada temperatur rendah melalui larutan air. Zinc vitriol digunakan untuk memasok kandungan zinc dalam pupuk, berperan dalam pembuatan lithopone; kemudian dalam proses elektrolit untuk seng plating. Selain itu, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mengkristal dalam struktur ortorombik.

Data kelarutan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ pada berbagai temperatur sangat penting untuk menentukan tingkat kejenuhan. Adanya fluktuasi walaupun kecil pada temperatur akan mempengaruhi tingkat saturasi untuk menumbuhkan kristal dengan kualitas yang baik. Oleh karena itu, kelarutan zat terlarut dalam pelarut air ditentukan sebelum memulai proses pertumbuhan. Kelarutan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ telah diketahui pada kisaran temperatur 34 sampai 50°C. Berdasarkan hal ini, jelas terlihat bahwa $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mudah larut dalam air dan kelarutan meningkat hampir linear dengan peningkatan temperatur. Pada temperatur sekitar 34°C, kelarutan didapatkan sebesar 92,41 gm/50 ml pada volume air. (Saha, 2011)



2.6. Pengujian Salt Spray

Aplikasi pelapisan pelindung pada konstruksi, manufaktur dan industri rekayasa / teknik, terdapat satu aspek ilmu korosi yang membutuhkan pemahaman secara detail yaitu permodelan dan pengujian batasan laju korosi. Selama beberapa dekade, pengujian “*salt spray*” telah dipergunakan untuk mengetahui performa dari pelapisan dan hasil pengujian itu digunakan sebagai acuan (Egga, 2013).

Pengujian mempergunakan wadah tertutup dengan pengondisian seperti kondisi laut yaitu spesimen uji diletakkan di dalam wadah tersebut yang selanjutnya diberi pengabutan larutan garam (PH dijaga pada rentang 6,5-7,2). Temperatur dijaga pada 35°C serta lama proses berjalan selama 96 jam. (ASTM, 2003)

2.7. Penelitian Sebelumnya

Menurut penelitian Raharjo pada tahun 2010 mengenai pengaruh variasi tegangan listrik dan waktu proses elektroploating terhadap ketebalan serta kekerasan lapisan pada baja karbon rendah dengan krom dengan paramater tegangan sebesar 4,6,8,10,dan 12 volt serta lama waktu 10, 20 dan 40 menit yang menerangkan bahwa semakin tinggi tegangan listrik yang diberikan maka mempengaruhi jumlah muatan yang mengalir dari anoda ke katoda sehingga jumlah ion-ion yang mengalir ke katoda akan semakin banyak dan menempel pada katoda.

Berdasarkan riset Alian pada tahun 2010 yang telah melakukan suatu penelitian mengenai proses elektroplating, menyatakan pengaruh tegangan pada proses elektroplating dengan peningkatan tegangan pada rentang 6-12 Volt berbanding lurus dengan ketebalan lapisan yang didapat sehingga berdampak pada menurunnya laju korosi pada spesimen yang dilapisi melalui proses elektroplating.

Begitu juga dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Malikurrahman di tahun 2015 dengan tujuan untuk menganalisa pengaruh variasi penambahan konsentrasi dari elektrolit terhadap ketebalan, daya lekat dan laju korosi. Laporan tersebut menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi berbanding lurus dengan meningkatnya ketebalan, daya lekat dan laju korosi.



Selain itu, dari hasil penelitian tersebut didapatkan konsentrasi yang optimal ialah konsentrasi dengan komposisi massa 15%.

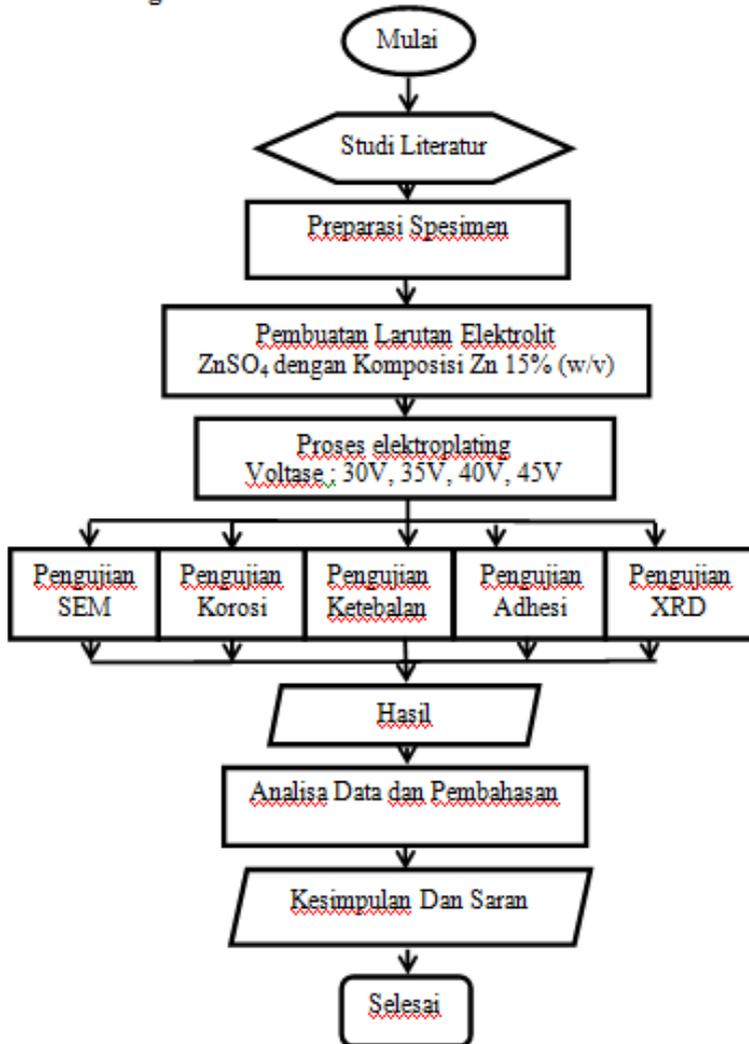
Selanjutnya, melalui penelitian dari Yerikho dkk yang telah selesai dilaksanakan pada tahun 2013 dengan bertujuan untuk memperoleh hasil dari optimalisasi variasi tegangan dan waktu terhadap ketebalan dan adhesivitas lapisan pada plat baja karbon rendah dengan proses elektroplating menggunakan pelapis seng, diperoleh kesimpulan bahwa dengan parameter tegangan berada pada rentang 4, 6, 8 volt serta waktu dengan variasi 10, 20, 40 menit, dihasilkan nilai optimal pada ketebalan dan adhesivitas pada peningkatan tegangan dan waktu.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir



3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

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

1. Baja karbon API 5 L Grade B (sebagai katoda)
Berperan sebagai spesimen uji yang akan dilapisi oleh logam seng pada proses elektroplating. Gambar spesimen dapat dilihat pada gambar 4.1 (a)

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia API 5L Grade B

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
0.18	0.19	0.4	0.017	0.007	0.02	0.015	0.006	0.001

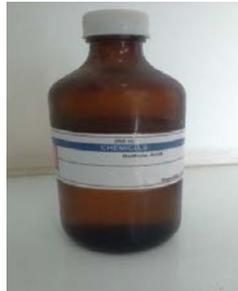
2. Grafit
Berperan sebagai anoda inert pada rangkaian elektroplating seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Anoda Grafit



3. Asam Sulfat (H_2SO_4) 5M
Berperan sebagai penstabil larutan saat melarutkan ZnSO_4 , menggunakan aquades berdasarkan gambar 3.3.



Gambar 3.3 Asam Sulfat (H_2SO_4)

4. Serbuk Seng Sulfat (ZnSO_4)
Digunakan sebagai pelapis spesimen uji (katoda) sekaligus sebagai sumber dari logam seng yang didepositkan pada permukaan spesimen uji seperti gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Serbuk Seng Sulfat (ZnSO_4)

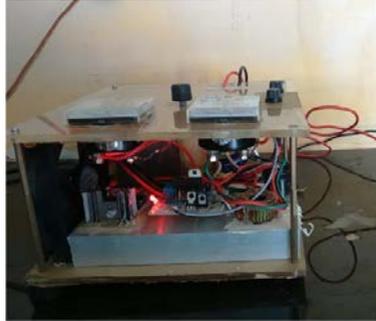
3.2.2. Alat Penelitian

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



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

1. Alat Elektroplating (*Rectifier*)
Digunakan sebagai sumber arus pada proses elektroplating seperti gambar 3.5.



Gambar 3.5 Alat Elektroplating (*Rectifier*)

2. Alat Uji Ketebalan
Digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan *coating* logam seng pada permukaan spesimen uji. Alat tersebut ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3. 6 Alat Uji Ketebalan *Dry Film Thickness (DFT) Elcometer*

3. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)
Digunakan untuk menimbang NaCl serbuk, ZnSO₄ serbuk dan perubahan massa baja sebelum dan sesudah proses korosi seperti tampak pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)

4. Alat Uji Kelekatan
Digunakan untuk mengukur daya lekat lapisan *coating* terhadap permukaan spesimen uji seperti pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Alat Uji Kekuatan Adhesi PosiTest AT-M Adhesion Tester

5. Alat Uji Scanning Electron Microcope (SEM)
Digunakan untuk melihat permukaan lapisan setelah *dicoating* dan penampang melintang pada substrat dengan lapisan *coating* yang ditunjukkan pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Alat Uji SEM dengan Merk Dagang FEI Inspect S50

6. Kompresor
Digunakan sebagai sumber tekanan dalam proses pengujian laju korosi (*Salt Spray*) yang ditunjukkan pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Kompresor

7. Salt Spray Chamber
Digunakan sebagai tempat isolasi uap air yang mengandung NaCl (larutan korosif) dalam proses *salt spray* yang ditunjukkan pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Salt Spray Chamber

8. Termocouple
Digunakan untuk mengontrol temperatur proses *salt spray* tetap pada temperatur yang ditentukan seperti pada gambar 3.12



Gambar 3. 12 Termocouple

9. Alat Pemanas
Digunakan untuk menaikkan temperatur di dalam *salt spray chamber* agar sesuai dengan temperatur yang ditentukan seperti pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Alat Pemanas



10. Alat Uji XRD

Digunakan untuk mengetahui fasa dan senyawa yang terbentuk pada material sampel. Alat ini ditunjukkan gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Alat Uji XRD

3.3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Penelitian ini mengacu pada literatur terkait *coating*, *electroplating*, *Zinc plating* baik dari buku maupun jurnal yang mempelajari terkait hal-hal tersebut.

2. Eksperimental

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian SEM, ketahanan korosi, ketebalan, dan kekuatan adhesi dan pengujian XRD

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Preparasi Spesimen

Spesimen yang digunakan adalah baja API 5L grade B yang kemudian di potong menjadi ukuran 5x4x0,3 cm

3.4.2. Persiapan Permukaan

Setelah pemotongan pada spesimen maka dilanjutkan dengan pembersihan spesimen dari pengotor yang melekat pada permukaan spesimen uji. Hal ini penting dilakukan agar proses



elektroplating dapat berlangsung dengan baik serta hasil deposit pada permukaan spesimen uji dapat menempel secara baik dan benar. Sehingga baik tidaknya kualitas hasil elektroplating terpengaruh dari preparasi yang dilakukan.

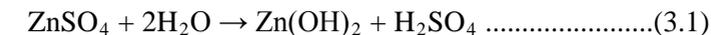
Preparasi spesimen dilakukan dalam beberapa langkah, antara lain:

1. Spesimen uji berupa baja API 5L grade B di-roll terlebih dahulu hingga berbentuk plat.
2. Melakukan pemotongan spesimen dengan ukuran 5 x 4 x 0,3 cm
3. Kemudian dilakukan pelubangan pada bagian atas tengah spesimen uji untuk mempermudah pengaitan dalam proses elektroplating.
4. Selanjutnya permukaan dari spesimen dilaksanakan pembersihan dengan menggunakan alat gerinda kemudian dilakukan pengasaran memakai alat gerinda dan kertas amplas dengan grade 80

3.4.3. Pembuatan Larutan ZnSO₄

Pada pembuatan larutan elektrolit ZnSO₄, dilakukan penimbangan serbuk garam seng sulfat dengan menggunakan timbangan analitik *mettler Toledo* dengan massa yaitu 15 gram yang kemudian dilarutkan dengan 100 ml aquades untuk mendapatkan konsentrasi 15% berdasarkan (Muhyidin, 2016) yang menyatakan dengan massa tersebut didapatkan hasil optimal pada proses elektroplating. Selanjutnya agar ditambahkan asam sulfat 5M untuk didapatkan kondisi stabil.

Kemudian dilakukan pengadukan agar asam sulfat yang telah ditambahkan dapat tercampur dengan baik (homogen) sesuai dengan persamaan berikut :



Pengadukan harus dilakukan dengan baik agar bahan-bahan yang telah ditambahkan dapat tercampur sempurna baik



secara manual maupun menggunakan peralatan seperti *magnetic stirrer*. Selanjutnya ditambahkan aquades kembali hingga volume larutan mencapai volume 100 ml. Dan tahapan terakhir ialah pengadukan larutan $ZnSO_4$ hingga benar-benar tercampur secara baik agar diperoleh hasil lebih baik. Pada pelaksanaan pembuatan larutan seng sulfat ($ZnSO_4$), dalam racikannya volume yang dihasilkan sebanyak 1 liter seng sulfat ($ZnSO_4$) dengan mempergunakan 150 gram bubuk $ZnSO_4$.

3.4.4. Penyusunan Rangkaian Elektroplating

Rangkaian elektroplating terdiri dari 4 komponen yang terdiri atas *rectifier* sebagai sumber arus yang akan mengalirkan arus listrik ke rangkaian elektroplating. Anoda yang dipergunakan ialah anoda inert berupa grafit berfungsi sebagai media terjadinya oksidasi. Reaksi oksidasi yang terjadi adalah oksidasi air. Kemudian katoda yang dipergunakan adalah baja API 5L grade B, sebagai media reaksi reduksi. Selanjutnya menggunakan larutan elektrolit $ZnSO_4$ sebagai sumber logam yang akan melapisi katoda.

3.5. Proses Elektroplating

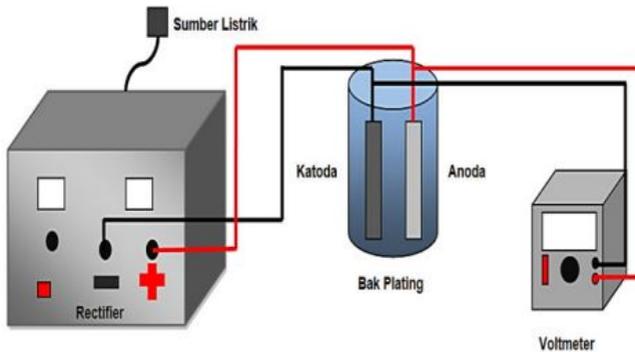
Proses elektroplating ini menggunakan baja API 5 L Grade B sebagai katoda dengan anoda inert berupa grafit. Selain itu menggunakan larutan $ZnSO_4$ sebagai elektrolit. Pada penelitian ini diberi perlakuan dengan variabel tetap yaitu konsentrasi larutan elektrolit 15%.

Proses elektroplating dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan dipergunakan
2. Melakukan perangkaian anoda dan katoda dengan jarak yang telah ditentukan pada wadah yang digunakan untuk melakukan proses elektroplating.
3. Menuangkan larutan elektrolit berupa seng sulfat ke dalam wadah elektroplating.
4. Meletakkan spesimen uji di tengah tengah anoda dan katoda



5. Menyambungkan kabel positif (berwarna merah) ke anoda dan kabel negative (berwarna hitam) ke katoda.
 6. Mengaktifkan alat elektroplating (*rectifier*)
 7. Mengatur tombol voltase untuk memperoleh tegangan yang diinginkan. Setiap proses elektroplating pada satu spesimen uji hanya menggunakan satu variasi tegangan. Variasi tegangan yang digunakan adalah 30,35,40,45 volt.
 8. Melakukan proses elektroplating selama 30 menit.
 9. Setelah proses elektroplating selesai, spesimen uji dimasukkan ke air sabun agar menetralkan sisa dari larutan elektrolit yang dipergunakan.
 10. Kemudian dilakukan pembersihan permukaan spesimen uji menggunakan aquades.
- Rangkaian alat elektroplating dapat dilihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Rangkaian Elektroplating

3.6. Pengujian Kekuatan Adhesi

Pengujian kekuatan adhesi ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan lekat atau ikatan adhesi lapisan cat dengan substrat. Pengujian ini dilakukan sesuai standar ASTM D4541 “*Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion testers*” metode *pull-off test*. Pengujian ini dilakukan setelah dilakukan proses elektroplating. Tata cara pelaksanaan



Laporan Tugas Akhir *Jurusan Teknik Material dan Metalurgi*

pengujian ini adalah menempelkan sebuah beban tetap yang tegak lurus terhadap lapisan permukaan. Pengujian dilakukan setelah campuran adhesif atau coating telah selesai mengalami *curing*, setelah itu dilakukan penarikan beban tersebut dan didapatkan nilai kekuatan adhesi. Pengujian ini ditunjukkan pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Pull Off Test

3.7. Pengujian SEM

Pada tahapan ini menggunakan alat SEM (Scanning Electron Microscope) yang berada di laboratorium Karakterisasi Material Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Uji ini untuk mengetahui deposit dari lapisan hasil elektroplating dari $ZnSO_4$, pengujian dilakukan dengan alat uji SEM dengan merek dagang FEI Inspect S50. Sebelum dilaksanakan pengujian SEM, spesimen dipotong sesuai standar kemudian dibersihkan dari berbagai kotoran yang menempel. Setelah itu dilaksanakan pengujian.

3.8. Pengujian Ketebalan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketebalan deposit lapisan hasil *coating* yang terbentuk pada permukaan spesimen uji setelah proses elektroplating. Pengujian ketebalan deposit lapisan *coating* dilakukan di PT. Cipta Agung dengan menggunakan alat uji ketebalan *Dry Film Thickness (DFT) Elcomete* serta mengacu pada ASTM B 499. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat pengukur ketebalan lapisan *coating DFT (Dry Film Thickness)* dengan merk *Elcometer*



Tahapan yang dilakukan ialah dengan mengarahkan *probs* dari alat DFT tersebut ke spesimen uji yang telah terlapis. Setelah tertempel selanjutnya akan muncul nilai ketebalan dari lapisan tersebut

Pengukuran ini dilakukan pada tiga titik berbeda dengan tiap titik terdapat tiga kali repetisi, dengan memakai tiga titik pengukuran didapatkan rentang ketebalan yang diperoleh setelah proses elektroplating pada setiap titik. Titik-titik tersebut ada pada kedua ujung dan bagian tengah. Kemudian pengambilan rata-rata tiap titik untuk selanjutnya diperoleh rata-rata keseluruhan. Pengujian ini ditunjukkan pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Pengujian Ketebalan

3.9. Pengujian Laju Korosi

Pengujian Laju Korosi ini dilakukan menggunakan metode weight loss untuk mengetahui laju korosi dari lapisan seng (Zn) memanfaatkan larutan elektrolit $ZnSO_4$ sebagai bahan sumber logam seng (Zn). dengan menggunakan dengan Pengujian laju korosi dilakukakn pada media lingkungan NaCl 3,5%. Material *coating* yang digunakan pada pengujian laju korosi ini adalah baja API 5L Grade B yang telah dilapisi dengan menggunakan logam seng. Pelaksanaan metode ini di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan lama dari pengujian laju korosi yang dilakukan adalah selama 96 jam dengan menggunakan larutan korosif NaCl 3,5% dengan menggunakan metode salt spray. Sebelum pelaksanaan metode



ini, dilakukan penimbangan terlebih dahulu untuk setiap spesimen uji yang telah di *coating* dengan seng (Zn). Kemudian setelah pelaksanaan metode ini pun dilakukan penimbangan massa kembali untuk mengetahui perubahan massa, yang selanjutnya bisa dihitung laju korosi yang telah terjadi. Standard pengujian yang digunakan adalah ASTM B 117.

3.10. Pengujian XRD

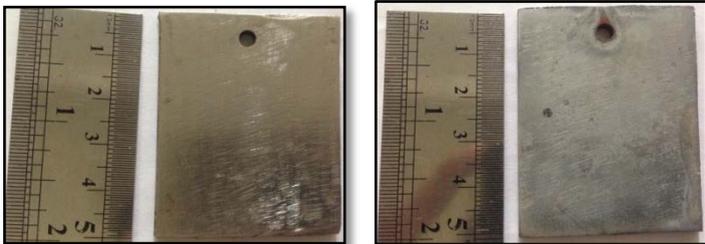
Pengujian ini menggunakan difraksi sinar X dalam prosesnya, bertujuan untuk mengidentifikasi unsur atau senyawa yang terbentuk pada lapisan deposit (*coating*) pada permukaan substrat. Prinsip kerja pada pengujian XRD yaitu adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan ada yang saling menguatkan. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Pengujian ini dilakukan pada spesimen yang telah ter-*coating* dan spesimen yang telah korosi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penampang Makro dan Mikro Hasil Elektroplating

4.1.1 Penampang Makro

Penampang makro dilakukan secara visual untuk mengamati perubahan yang terjadi pada spesimen uji berupa baja API 5L Grade B setelah proses elektroplating. Melalui gambar 4.1 (a) merupakan spesimen uji sebelum dilakukan proses elektroplating sedangkan gambar 4.1 (b) adalah hasil proses elektroplating menggunakan larutan seng sulfat ($ZnSO_4$)



Gambar 4.1 (a) Spesimen Uji Sebelum dan (b) Sesudah Proses Elektroplating

Berdasarkan pengamatan secara visual pada spesimen dapat dilihat bahwa permukaan spesimen telah terlapis oleh logam seng (Zn). Hasil elektroplating dikatakan baik ketika permukaan dari spesimen sepenuhnya tertutupi oleh logam pelapis sehingga tidak ada bagian permukaan yang terbuka atau berpori. Melalui gambar 4.1 (b) tampak bahwa permukaan spesimen berwarna abu-abu buram yang berdasarkan penuturan Aga (2011), dikatakan warna tersebut merupakan tanda bahwa logam seng (Zn) sebagai logam pelapis telah menempel pada permukaan spesimen dan dapat dikatakan bahwa proses elektroplating berjalan dengan baik.

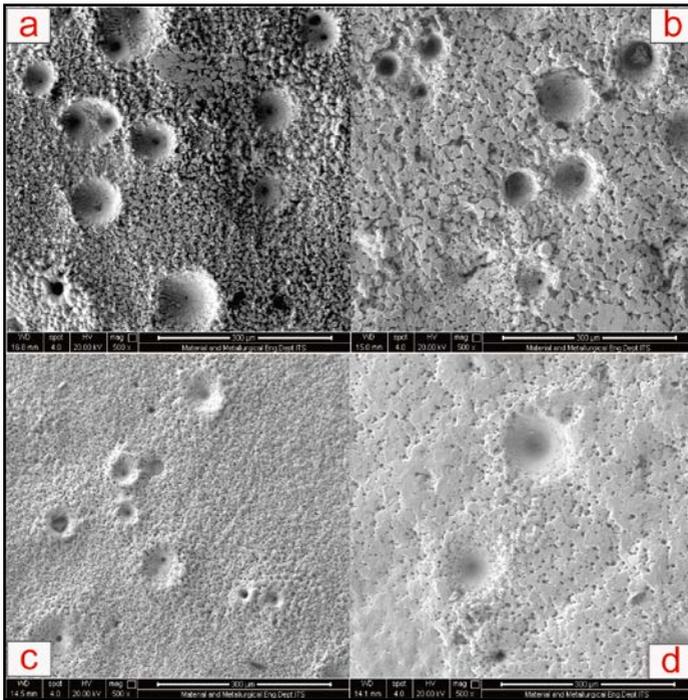
4.1.2. Penampang Secara Mikro

Spesimen uji dari hasil proses elektroplating selanjutnya perlu dilakukan pengamatan secara mikro untuk mengetahui



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

lapisan deposit hasil dari proses elektroplating. Pengamatan ini menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 4.2. Berdasarkan gambar 4.2 (a) untuk variabel 30 volt banyak bermuncul pori berbentuk lingkaran. Fenomena tersebut terjadi juga pada hasil SEM untuk variabel 35 volt hingga 40 volt yang ditunjukkan gambar 4.2 (b-c) tampak permukaan yang berpori juga dengan jumlah pori yang mulai berkurang. Hal tersebut juga terjadi pada gambar 4.2 (d) dengan variabel 45 volt.

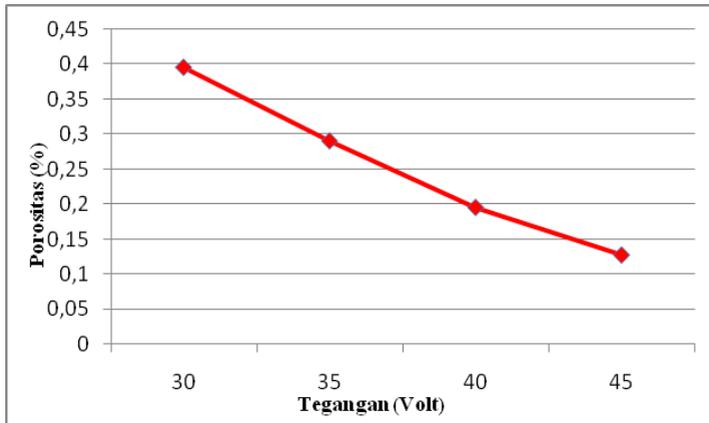


Gambar 4.2 Penampang Mikro 500x : (a) 30V, (b) 35V, (c) 40 V dan (d) 45 V

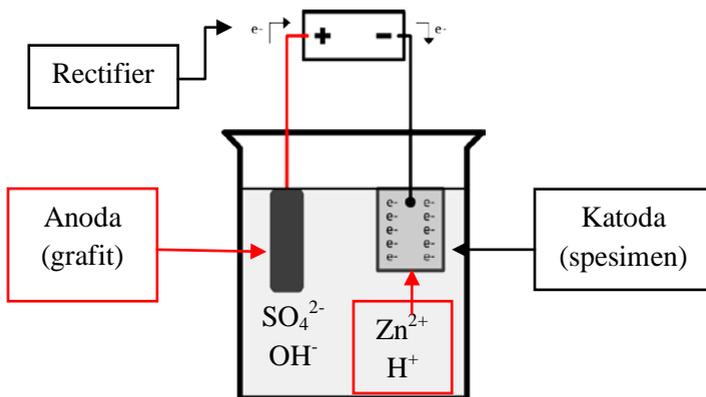


Tabel 4.1 Porositas pada Permukaan Spesimen *Coating*

Tegangan (volt)	Porositas (%)
30	0,396
35	0,291
40	0,196
45	0,128



(a)



(b)

Gambar 4.3 (a) Grafik Tegangan (volt) terhadap Porosity dan (b) Skema Terjadinya Porositas



Munculnya porositas pada permukaan lapisan deposit yang ditunjukkan oleh tabel 4.1 dan grafik gambar 4.3 (a), pada setiap variabel diakibatkan adanya faktor penentu salah satunya ialah arus yang mengalir pada permukaan substrat per satuan luas yang disebut juga dengan *current desity* yang dipergunakan. Hal ini sesuai dengan penelitian (Blum et al, 1931 dan juga Bari, 2010). Berdasarkan peneltian tersebut dijelaskan bahwa semakin besar arus yang dipergunakan maka porositas yang muncul semakin berkurang. Selain itu, berdasarkan penelitian dari parks (2007) yang menerangkan hukum ohm, menyatakan bahwa hubungan tegangan (*volt*) dengan arus (*ampere*) selalu berbanding lurus ($V=I/R$), sehingga semakin tinggi tegangan yang digunakan maka porositas juga menurun.

Berdasarkan gambar 4.3 (b) yang merupakan skema terjadinya porositas, fenomena itu terjadi diawali dari arus yang mengalir menuju anoda (grafit) yang selanjutnya terjadi proses dekomposisi air yang menghasilkan elektron (menuju katoda melalui kawat) dan ion H^+ yang mengarah ke katoda yang telah dipenuhi elektron dan menjadi gelembung udara (H_2). Gelembung tersebut menempel pada permukaan katoda. Sehingga elektron yang seharusnya melewati daerah itu tidak bisa menempel karena gelembung gas tersebut kemudian ketika proses elektropating selesai (arus listrik tidak mengalir) maka gelembung gas (H_2) tersebut pecah sehingga meninggalkan lubang atau porositas pada permukaan. Fenomena ini sesuai dengan penelitian Malikurrahman (2015) dan Okamoto et al (2004).

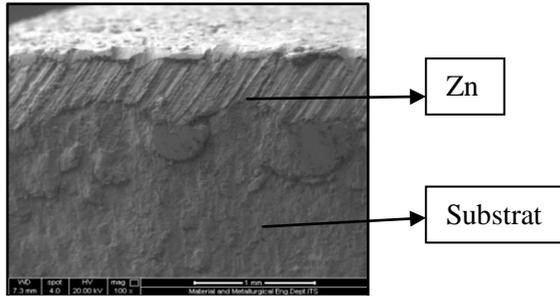
Selain itu, dari hasil tabel 4.1 dan grafik pada gambar 4.3 (a) juga terdapat faktor lain yang mempengaruhinya yaitu kenaikan temperatur pada proses elektroplating sebagai akibat dari semakin tingginya penggunaan tegangan (*volt*) pada penelitian Agboola et al (2012), berpengaruh terhadap tingkat kelarutan hidrogen pada lapisan deposit yang semakin menurun ketika temperatur meningkat seperti pada penelitian dari Blum et al (1931) dan Sehingga, porositas yang diakibatkan oleh gelembung udara (gas hidrogen) juga menurun.

Faktor lainnya adalah ketebalan lapisan deposit. Porositas juga dipengaruhi oleh faktor tersebut. Berdasarkan penelitian dari



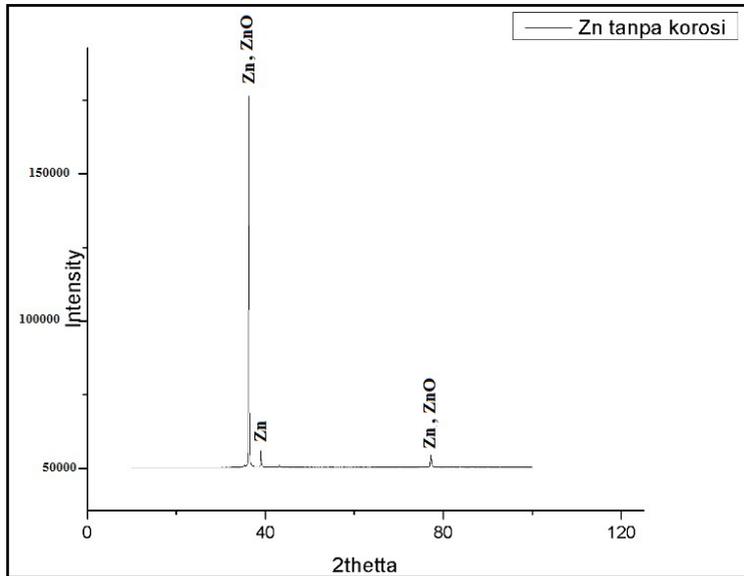
Gabe (1984), bahwa semakin tinggi ketebalan lapisan deposit maka porositas yang terjadi juga semakin menurun

Pengamatan lain berupa (*cross section*) seperti gambar 4.4 terdapat lapisan deposit diatas substrat dengan warna lebih cerah dari substrat. Adanya perbedaan warna tersebut selanjutnya dapat dihitung ketebalan deposit yang berada diatas permukaan substrat sesuai pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Lapisan Deposit (*coating*)

Fenomena terbentuknya lapisan deposit ini membuktikan bahwa pada proses elektroplating, kation seng (Zn^{2+}) dari larutan elektrolit yaitu larutan seng sulfat ($ZnSO_4$) bergerak menuju spesimen uji berupa baja API 5L Grade B sebagai katoda dan menempel membentuk lapisan deposit logam seng (Zn) pada substrat sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Lou (2006). Adanya lapisan seng (Zn) dan (ZnO) pada permukaan substrat dapat ditunjukkan oleh hasil XRD pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik XRD Spesimen Coating Seng (Zn)

Berdasarkan hasil XRD pada gambar 4.5 dapat disimpulkan bahwa lapisan deposit hasil elektroplating, adalah lapisan seng (Zn) dan (ZnO). Lapisan seng (Zn) didapat dari larutan yang mengandung Zn^{2+} sedangkan ZnO adalah senyawa yang terjadi karena reaksi lapisan Zn yang berikatan dengan oksigen. 2θ dari Zn yaitu 36.29375, 38.9425 dan 77.1207 serta ZnO pada $2\theta = 39.089$ dan 77.3479 berdasarkan XRD PDF yang diperoleh dari uji XRD. Hasil tersebut sesuai dengan hasil XRD pada penelitian yang dilakukan oleh Popola et al (2012).

4.2. Pengukuran Ketebalan Hasil Proses Elektroplating

Pengujian ketebalan dilakukan pada spesimen yang telah terlapis oleh seng (Zn) sesudah proses elektroplating, untuk mengetahui ketebalan yang dihasilkan proses elektroplating menggunakan alat uji ketebalan merk *Elcometer* serta mengacu pada ASTM B 499. Data nilai ketebalan tiap variabel dapat dilihat pada tabel 4.2, didapatkan nilai rata-rata dari setiap perubahan

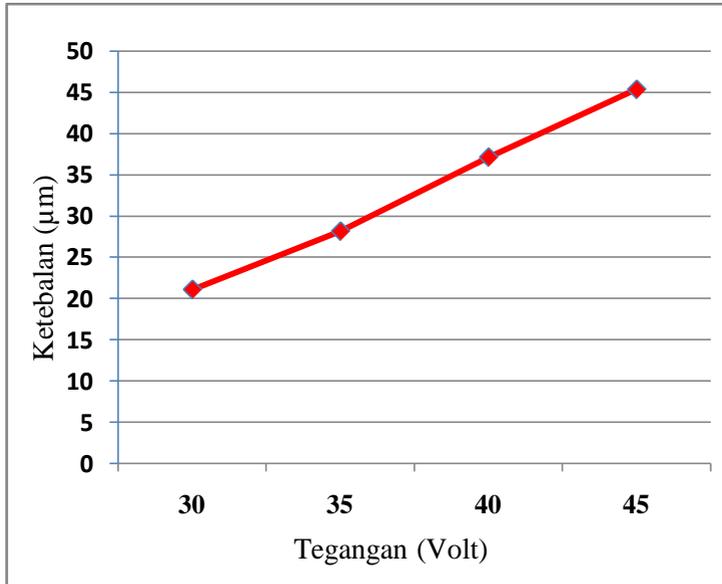


tegangan (volt), yaitu berupa tren kenaikan seiring dengan meningkatnya tegangan (volt) pada proses elektroplating.

Tabel 4. 2 Ketebalan Lapisan *Coating* Tiap Variasi Tegangan

Tegangan (Volt)	Spesimen	Pengukuran			Rata-rata Ketebalan Per Spesimen (μm)	Rata-rata Total (μm)
		Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3		
30	1	19,8	23,2	22,9	21,97	21,10
	2	21,9	22,4	18,6	20,97	
	3	16,2	21,8	23,1	20,37	
35	1	24,6	30,1	28,1	27,6	28,17
	2	27,6	28,3	24,8	26,9	
	3	26,8	35	28,2	30	
40	1	36	40,5	33,2	36,57	37,16
	2	35,6	39,3	36,3	37,07	
	3	35,7	41,7	36,1	37,83	
45	1	38,1	47,1	41,9	42,37	45,39
	2	47,3	56	50,6	51,30	
	3	43,5	44,1	39,9	42,50	

Melalui tabel 4.2, didapatkan peningkatan ketebalan lapisan *coating* ini sesuai dengan penelitian Popola et al (2011) dan Fayomi et al (2011) yang menyatakan bahwa semakin tinggi tegangan (volt) yang dipergunakan selama proses elektroplating juga berefek pada ketebalan yang didapat yaitu semakin tebal. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan (volt) merupakan salah satu faktor penting untuk mendapatkan ketebalan yang baik. Selain itu grafik data ketebalan dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Tegangan (*volt*) Terhadap Ketebalan Lapisan

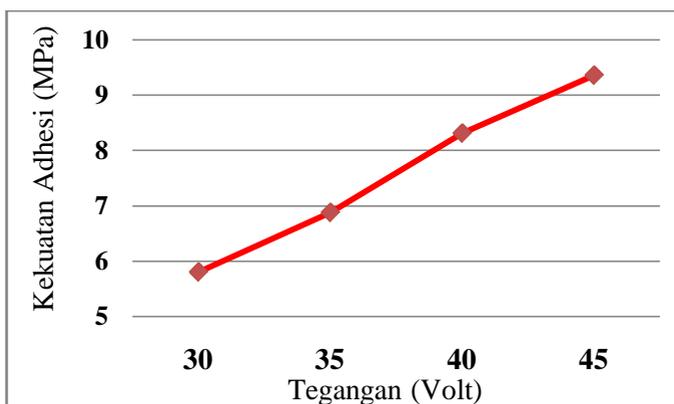
4.3. Pengujian Kekuatan Adhesi Lapisan *Coating*

Pengujian kekuatan adhesi atau *adhesion test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan adhesi lapisan deposit dari logam seng (Zn) yang menempel pada permukaan spesimen uji. Pengujian ini menggunakan alat uji kekuatan adhesi *PosiTest AT-M Adhesion Tester* yang mengacu pada ASTM D 454. Kemudian dari pengujian ini didapatkan nilai kekuatan adhesi dari lapisan deposit seng (Zn) seperti dilihat pada Tabel 4.3 dan grafik pada gambar 4.7.



Tabel 4.3 Nilai Kekuatan adhesi Lapisan Deposit Seng (Zn)

Tegangan (Volt)	Nilai Kekuatan Adhesi (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
30	6,86	5,80
	3,57	
	6,97	
35	7,8	6,88
	6,29	
	6,55	
40	7,05	8,31
	7,53	
	10,34	
45	8,99	9,36
	8,87	
	10,21	



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh Tegangan Terhadap Kekuatan Adhesi



Melalui Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa semakin tinggi tegangan yang dipergunakan semakin besar nilai kekuatan adhesi yang didapat. Berdasarkan grafik pengaruh tegangan (*volt*) terhadap kekuatan adhesi pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa tren yang dihasilkan ialah meningkat seiring meningkatnya tegangan (*volt*). Berlandaskan penelitian dari parks (2007) yang menyatakan tegangan (V) berbanding lurus terhadap arus (I) maka hal ini menunjukkan bahwa penelitian dari (Blum et al, 1931 dan juga Bari, 2010) yang menyatakan arus yang dipergunakan pada elektroplating semakin tinggi berdampak pada penggunaan tegangan (*volt*) yang tinggi juga. Fakta tersebut berbanding terbalik dengan muncul pori atau *void* karena semakin tinggi arus maka semakin rendah kuantitas porositas yang ada.

Munculnya pori atau *void* sesuai dengan penelitian Okamoto *et al* (2010) pada proses elektroplating muncul gelembung H_2 pada katoda sebagai reaksi dari proses yang berjalan merupakan faktor lain yang dapat mempengaruhi kekuatan adhesi lapisan Seng (Zn) pada substrat. Atom-atom hidrogen selain menempel pada permukaan juga biasanya masuk disela-sela antara lapisan deposit dengan substrat yang mengakibatkan munculnya *void* pada *interface*. Adanya *void* ini dapat berdampak pada nilai kekuatan adhesi lapisan deposit, karena semakin banyak *void* yang muncul bisa menurunkan nilai kekuatan adhesi lapisan deposit

Selain itu, hasil nilai kekuatan adhesi pada tabel 4.3 dan gambar 4.7 ini sangat dipengaruhi oleh faktor lain. Faktor tersebut ialah pengaruh dari preparasi yang dilakukan sebelum melakukan proses eletroplating yaitu proses pengasaran. Karena kekasaran permukaan dari substrat dapat diperoleh melalui proses pengasaran dengan menggunakan alat seperti gerinda maupun penggunaan kertas amplas dengan grade tertentu (pada penelitian ini, grade 80). Hal tersebut sesuai dengan penelitian dari Ye *et al* (1998). Pada penelitian tersebut, dinyatakan bahwa proses pengasaran mampu menghasilkan fenomena *metallic interlocking* yang merupakan mekanisme utama pada kekuatan adhesi yang terjadi pada lapisan seng (Zn) pada substrat.



4.4. Pengujian Laju Korosi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi dengan menggunakan metode *salt spray* yang kemudian dilanjutkan dengan *weight loss*. Pada gambar 4.8 ditunjukkan spesimen sebelum (a) dan sesudah (b) mengalami proses korosi. Kemudian hasil pengujian laju korosi ini dapat dilihat melalui tabel 4.4 dan gambar 4.9 dapat dilihat nilai laju korosi yang terjadi pada setiap spesimen uji yang telah dicoating dengan variabel tegangan berbeda menggunakan salt spray.



Gambar 4.8 Spesimen Sebelum (a) dan Sesudah (b) Korosi

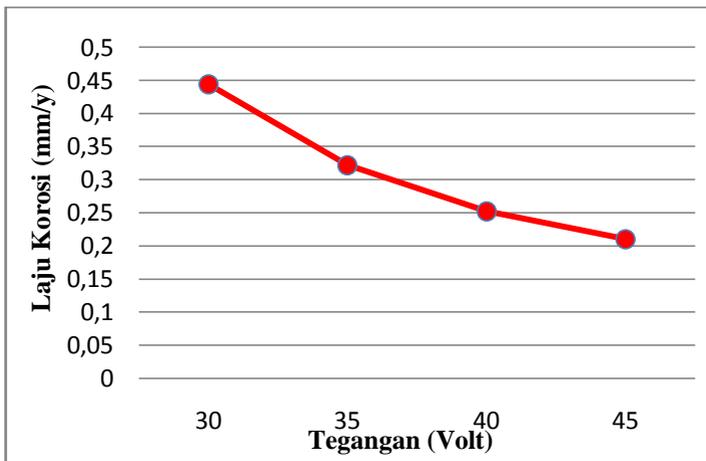
Perhitungan laju korosi dan weight loss *Salt Spray* untuk tabel 4.4 adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ Weight Loss} = \frac{\text{Massa awal} - \text{massa setelah korosi}}{\text{massa awal}} \times 100\%$$

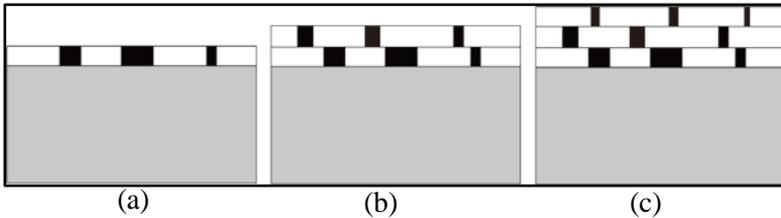


Tabel 4.4 Laju Korosi pada Weight Loss Salt Spray

Tegangan (volt)	Weight Loss (gram)	Rata Weight Loss (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Rata Laju Korosi (mm/y)
30	0,1597	0,1475	0,449	0,444
	0,1564		0,439	
35	0,1263	0,1077	0,289	0,322
	0,1031		0,355	
40	0,0937	0,0867	0,263	0,252
	0,0854		0,24	
45	0,081	0,0747	0,192	0,210
	0,0683		0,228	



Gambar 4.9 Grafik Pengaruh Tegangan (volt) terhadap Laju Korosi Metode Salt Spray



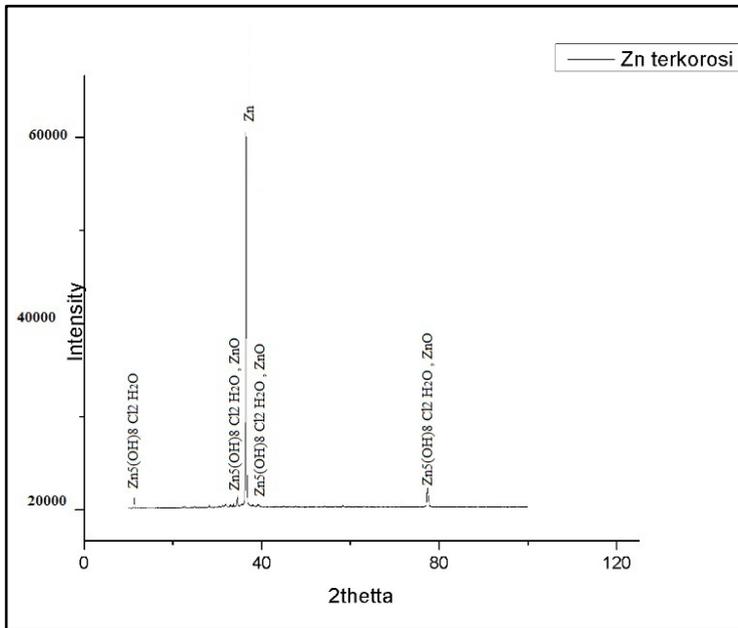
Keterangan :

■ : Porositas □ : Lapisan Zn ▒ : Spesimen

Gambar 4. 10 Hubungan Porositas dan Laju Korosi (a) Satu Lapisan, (b) Dua Lapisan dan (c) Tiga Lapisan

Berdasarkan tabel 4.4 dan grafik pada gambar 4.9 didapatkan nilai laju korosi pada metode salt spray, diketahui bahwa semakin tinggi tegangan yang dipergunakan maka semakin rendah laju korosi yang terjadi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian dari Durodola (2011). Fenomena ini terjadi karena besarnya tegangan (volt) maka didapatkan kualitas lapisan *coating* yang baik, hal tersebut ditunjukkan dengan permukaan dari lapisan *coating* yang semakin menurun tingkat porositasnya sesuai tabel 4.1 sehingga diperoleh permukaan yang padat dan baik.

Pada gambar 4.10 ditunjukkan bahwa tingkat porositas yang terjadi di permukaan lapisan deposit semakin menurun dari gambar 4.10 (a-c) dikarenakan lapisan bawah tertutupi oleh lapisan deposit di atasnya sehingga diperoleh lapisan yang baik dengan meningkatnya tegangan yang digunakan. Selain itu, melalui tabel 4.4 dan gambar 4.9 diketahui bahwa terjadi penurunan laju korosi berdasarkan kenaikan tegangan. Fenomena ini terjadi karena penurunan porositas seperti yang ditunjukkan gambar 4.10, hal ini dapat meminimalkan luas permukaan lapisan deposit yang terpapar oleh serangan korosi sehingga laju korosi yang terjadi menurun.



Gambar 4. 11 Hasil XRD Setelah Korosi

Berdasarkan hasil XRD yang ditunjukkan pada gambar 4.11 terlihat produk korosi yang muncul setelah pelaksanaan proses korosi pada spesimen yang ter-*coating*. Produk korosi tersebut ialah $Zn_5(OH)_8 Cl_2 H_2O$ (Zinc Hydroxyl Chloride Hydrate) atau juga disebut sebagai Simonkolleite menjadi produk utama korosi ketika spesimen uji dikondisikan di lingkungan laut. Senyawa simonkolleite berada pada 2θ adalah 36.4571 Sedangkan ZnO (Zinc Oxide) pada pengujian korosi ini semakin tinggi *intensity*-nya pada permukaan lapisan *coating* tersebut. Produk korosi tersebut sesuai dengan hasil produk dari penelitian Santana *et al* (2012) yang menyebutkan bahwa kedua produk tersebut merupakan hasil korosi dari seng (Zn).

Jika melihat dari hasil produk korosi yang terjadi, bisa disimpulkan bahwa yang terpapar serangan korosi sepenuhnya



ialah lapisan deposit seng (Zn), sedang substrat berupa baja API 5L Grade B tidak mengalami korosi. Hal ini juga membuktikan bahwa lbgmapisan *coating* yang terbentuk pada permukaan substrat merupakan hasil elektroplating yang baik. Sedangkan menurut Fayomi *et al* (2011) porositas yang terjadi pada permukaan spesimen yang telah terlapisi seng (Zn), tidak terlalu berpengaruh terhadap sistem proteksi anoda tumbal pada lapisan deposit tersebut karena sifat dari seng (Zn) yang bersifat lebih anodik dari pada substrat dari baja.

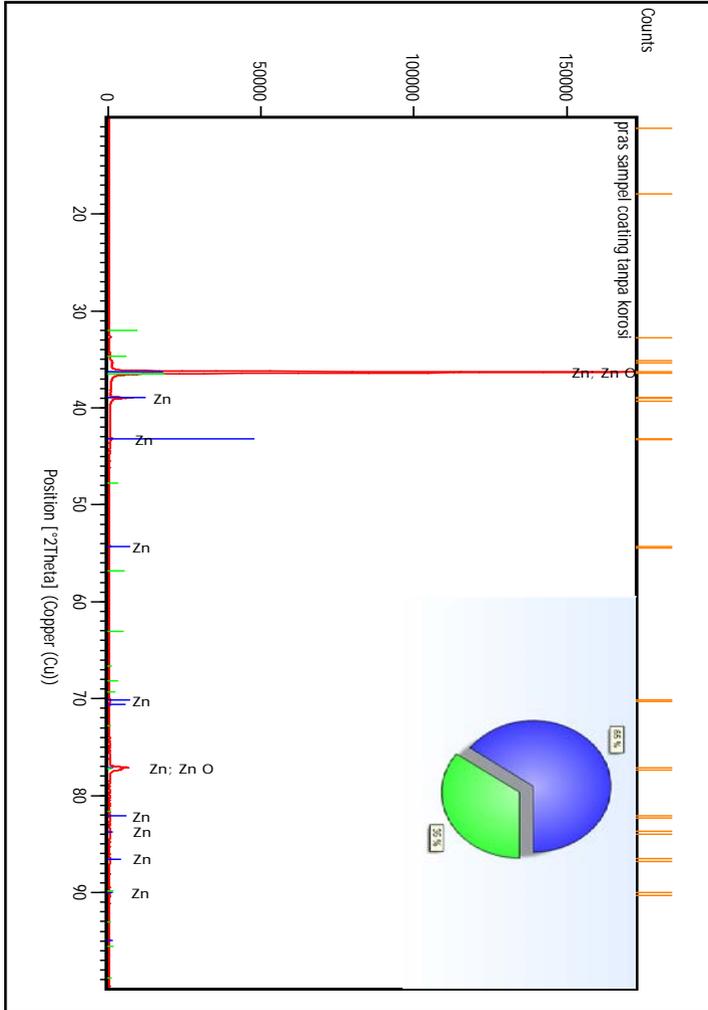


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

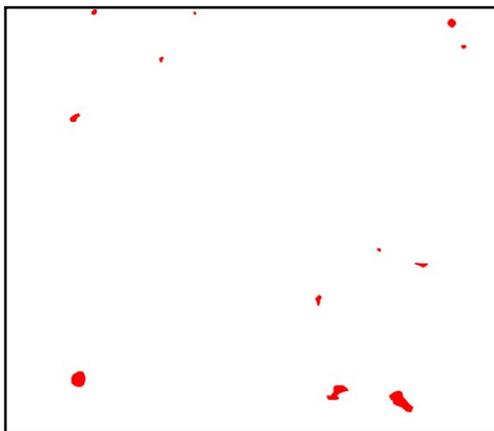
Lampiran 1 : Hasil XRD

1. Hasil XRD Spesimen Coating Sebelum Korosi



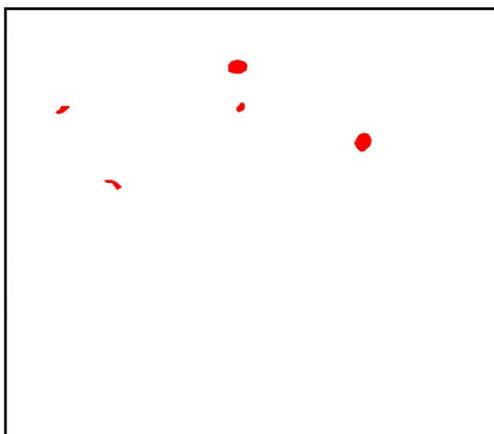
Lampiran 2 : Gambar ImageJ

30 Volt



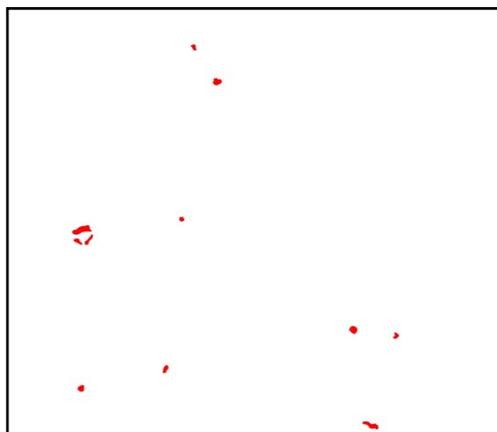
Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
30V.png	12	11993	999.417	0.396	4.762

35 Volt



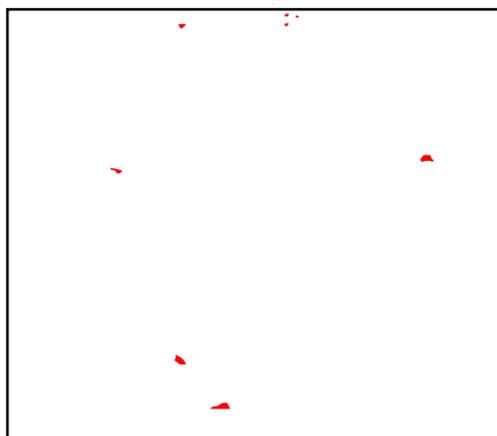
Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
35 volt oke.png	16	35603	2225.188	0.291	60.633

40 Volt



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
40V.png	11	5795	526.818	0.196	17.904

45 Volt



Slice	Count	Total Area	Average Size	%Area	Mean
45volt oke.png	9	3897	433	0.128	5.319

Lampiran 3 : Perhitungan

1. Perhitungan dalam pembuatan NaCl 3,5% (menggunakan konsentrasi massa)

Catatan : massa jenis air 1 gr/cm^3

$$3,5 \% = \frac{3,5 \text{ g zat terlarut}}{1000 \text{ g pelarut}} \times 100\%$$

Ket : NaCl (terlarut) dan aquades (pelarut)

- Dibutuhkan 3,5 gram NaCl tiap 1000 ml aquades

2. Perhitungan dalam pengenceran untuk pembuatan larutan ZnSO_4

- Pengenceran untuk mendapatkan H_2SO_4 5M sebanyak 20 ml dari H_2SO_4 98% (18,4 M)

$$V_1 \times M_1 = V_2 \cdot M_2$$

$$\text{Volume } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 98\%} \times 18,4 \text{ M} = 20 \text{ ml} \times 5 \text{ M}$$

$$\text{Volume } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ 98\%} = 5,4 \text{ ml}$$

Sehingga untuk mendapatkan H_2SO_4 5M dibutuhkan H_2SO_4 98% sebanyak 5,4 ml dan aquades 14,6 ml.

- Pembuatan ZnSO_4 dengan konsentrasi 15%

$$15\% = \frac{15 \text{ g terlarut}}{100 \text{ g pelarut}} \times 100\%$$

Ket : ZnSO_4 (terlarut) dan aquades + H_2SO_4 5M (pelarut)

Dibutuhkan 15 gram ZnSO_4 untuk tiap 1000 ml pelarut (aquades 980 ml + 20 ml H_2SO_4 5M)

3. Perhitungan Luas penampang spesimen Salt Spray

Diketahui : panjang (p) = 5 cm

$$\text{Lebar (l)} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal (t)} = 0,3 \text{ cm}$$

Ditanya : Luasan untuk Salt Spray

Jawab :

Luasan yang hilang 1 (preparasi) berbentuk lubang bulat

$$\text{Jari-jari} = 0,25 \text{ cm}$$

$$L = 3,14 \times 0,25 \times 0,25 \times 1\text{cm}^2 = 0,19625 \text{ cm}^2$$

Luasan yang dihitung

$$L1 \text{ (sisi panjang dan lebar)} = ((4 \times 5) - 0,19625) \times 2 \times 1\text{cm}^2 = 39,6075 \text{ cm}^2$$

$$L2 \text{ (sisi panjang dan tebal)} = 5 \times 0,3 \times 2 \times 1\text{cm}^2 = 3 \text{ cm}^2$$

$$L3 \text{ (sisi lebar dan tebal)} = 0,3 \times 4 \times 2 \times 1\text{cm}^2 = 2,4 \text{ cm}^2$$

$$L4 \text{ (sisi dalam lingkaran dan tebal)} = (0,25 \times 2 \times 3,14) \times 0,3 \times 1\text{cm}^2 = 0,471 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luasan yang terpapar} = (L1 + L2 + L3 + L4) - \text{luasa hilang} =$$

$$(39,6075 \text{ cm}^2 + 3 \text{ cm}^2 + 2,4 \text{ cm}^2 + 0,471 \text{ cm}^2) = 45,4785 \text{ cm}^2$$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data data yang didapatkan pada penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh variasi tegangan terhadap ketebalan lapisan coating yaitu semakin tinggi tegangan (*volt*) yang digunakan maka semakin tebal lapisan coating yang didapatkan. Nilai ketebalan terendah adalah 21,10 μm untuk 30 volt dan tertinggi adalah 45,39 μm untuk 45 volt.
2. Pengaruh pengaruh variasi tegangan terhadap kekuatan adhesi lapisan coating adalah semakin tinggi tegangan (*volt*) mengakibatkan nilai kekuatan adhesi lapisan coating semakin besar. Kekuatan adhesi terendah adalah 5,80 Mpa untuk 30 volt dan tertinggi adalah 9,36 Mpa untuk 45 volt.
3. Pengaruh variasi tegangan terhadap ketahanan korosi baja karbon rendah dengan metode elektroplating ialah mengurangi laju korosi yang terjadi sejalan dengan meningkatnya tegangan (*volt*) yang digunakan. Laju korosi tertinggi adalah 0,444 mm/y untuk 30 volt dan terendah adalah 0,21 mm/y untuk 45 volt.

5.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu :

1. Pada tahap preparasi spesimen (*grinding*) sebaiknya dilakukan tepat sebelum proses elektroplating agar spesimen tidak terpapar udara dan korosi.
2. Ketika proses elektroplating sebaiknya selalu dikontrol untuk tegangan (*volt*) yang digunakan agar sesuai dengan ketentuan penelitian.



Laporan Tugas Akhir
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2011. *“Zinc Coating : A Comparative Analysis of Process and Performance Characteristic”*. USA : Author
- _____. 2005. *“API 5 L : Specification for Line Pipe”*. Washington D. C. : API Publishing Service.
- _____. 2002. *“ASTM D4541 : Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Potable Adhesion Testers”*. Washington DC : Author
- _____. 2003. *“ASTM B117 : Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus”*. Washington DC : Author
- _____. 2003. *“ASTM B 499 : Standard Test Method for Measurement of Coating Thicknesses by the Magnetic Method: Nonmagnetic Coatings on Magnetic Basis Metals”*. Washington DC : Author
- _____. 2006. *“Fundamentals of the Heat Treating of Steel”* . Washington DC : Author
- Agboola, Oluranti Sadiku et al. 2012. *“The properties and the effect of operating parameters on nickel plating (review)”*. International Journal of the Physical Sciences Vol. 7(3), pp. 349 – 360 DOI: 10.5897/IJPS11.1163 ISSN 1992 - 1950 © 2012 Academic Journals
- Alian, Helmy. 2010 . *“Pengaruh Tegangna pada Proses elektroplating Baja dengan Pelapis Seng dan Krom Terhadap Kekerasan dan Laju Korosinya”*. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) ke-9 Palembang ISBN: 978-602-97742-0-7
- Badea, G.E, Caraban A, Sebesan M, Dzitac S, Cret P, and Setel A. 2010. *“Polarisation Measurements Used For Corrosion Rates Determination”* . Journal of Sustainable Energy, Vol 1, No .1
- Baker, Michael Jr. 2008. *“Pipeline Corrosion : Final Report”*. USA : Author
- Bari, George. 2010. *Electrodeposition of Nickel*. Modern Electroplating, Fifth Edition : John Wiley & Sons, Inc

- Biddulph, Clifford. 2011. *“Zinc Electroplating : Choosing The Best Process for Your Operation”* . Charlotte USA : Pavco,Inc
- Blum,W et al. 1931 . *“The Porosity of Electroplated Chromium Coatings*. Bureau of Standards Journal of Research
- Bushman, James B. 2010. *“Corrosion and Cathodic Protection Theory”* . Ohio USA : Bushman & Associates, Inc
- Durodola, B.M et al. 2011. *“Study of Influence of Zinc Plated Mild Steel Deterioration in Seawater Environment”*. Int. J. Electrochem. Sci., 6 (2011) 5605 - 5616
- Edward, Joseph. 1983. *“Electroplating : A guide for designers and engineers”*. United Kingdom : The Institute of Metal Finishing
- Fayomi, O.S.I and Popola. 2012. *“An Investigation of the Properties of Zn Coated Mild Steel”*. Int. J. Electrochem. Sci., 7 (2012) 6555 – 6570
- Fayomi, O.S.I et al. 2011. *“Influence of Plating Parameter and Surface Morphology on Mild Steel”*. J. Mater. Environ. Sci. 2 (3) (2011) 271-280 ISSN: 2028-2508
- Fontana, Mars G. 1987. *“Corrosion Engineering”*. Singapura : B&Jo Enterprise Pte Ltd.
- Gabe. 1984. *“Metallic Coatings for Protection”*. Ellis Horwood Limited
- Galvinfo. 2014. *“Coating Processes and Surface Treatments : The Continuous Electroplating Process for Steel Sheet Products”*. North Americ : GalvInfo Center
- Habashi, Fathi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy : Volume II Primary Metals, Secondary Metal and Light Metals”*. Germany : Wiley Company
- Jaypuria, Sanjib Kumar. 2008. *“Heat Treatment of Low Carbon Steel”* . India : National Institute of Technology Rourkela
- Kalpakjian, Serope and Steven R. Schmid. 2009. *“Manufacturing Engineering and Technology Sixth Edition In SI Units”* . USA : Pearson
- Kiefner, John. F and Cheryl J Trench. 2001. *“Oil Pipeline Characteristics and Risk Factors : Illustrations from the*

- Decade of Construction* . Worthington : Kiefner & Associates, Inc.
- Kropschot, S.J and Jeff L. Doebrich. 2011. “*Zinc : The Key to Preventing Corrosion*”. USA : USGS Mineral Resources Program
- Lou, Helen. H and Yinlun Luang. 2006 .”*Electroplating*” . Encyclopedia of Chemical Processing DOI: 10.1081/E-ECHP-120007747
- Malikurrahman, Muhyidin. 2015 . “*Pengaruh Penambahan Konsentrasi ZnSO₄ pada Baja ASTM A 213 T11 terhadap Ketebalan, Kelekatan dan Laju Korosi*. Surabaya : ITS
- Nabhani, F., A.M. Jasim and S.W.Graham. 2007. “*Electrochemical Behaviour of Low Carbon Steel in Aqueous Solutions*”. Proceedings of the World Congress on Engineering 2007 Vol II
- Okamoto, Naoki et al. 2004. “*Adhesion of Electrodeposited Copper, Nickel and Silver Films on Copper, Nickel and Silver Substrate*”. Materials Transactions, Vol. 45, No. 12 (2004) pp. 3330 to 3333 2004 The Japan Institute of Metals
- Parks, James. 2007. “*Ohm’s Law III -- Resistors in Series and Parallel*”. University of Tennessee : Tennessee
- Perez, Nester. 2004. “*Electrochemistry and Corrosion Science*”. Massachusetts : Kluwer Academic Publisher.
- Popola, A.P. and Fayomi. 2011. “*Effect of some process variables on zinc coated low carbon steel substrate*”. Scientific Research and Essays Vol. 6(20), pp. 4264-4272 DOI: 10.5897/SRE11.777 ISSN 1992-2248 ©2011 Academic Journals
- Popola, A. P and Fayomi. 2011. “*Performance Evaluation of Zinc Deposited Mild Steel in Chloride Medium*” . Int. J. Electrochem. Sci., 6 (2011) 3254 - 3263
- Raharjo, Samsudi. 2010. “*Pengaruh Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Proses Elektroplating Terhadap Ketebalan serta Kekerasan Lapisan pada Baja Karbon Rendah dengan Krom*”. Semarang : Universitas Diponegoro

- Revie, R. Winston and Herbert H. Uhlig. 2008. "*Corrosion and Corrosion Control : An Introduction Corrosion Science and Engineering Fourth Edition*". Canada : John Wiley & Sons, Inc
- Saha, J.K and J. Podder. 2011. *Crystallization of Zinc Sulphate Single Crystal and Its Structural, Thermal and Optical Characterization*". Journal of Bangladesh Academy of Sciences, Vol. 35, No. 2, 203-210
- Saleh, A.A . 1995. "*Pelapisan Logam*". Bandung : Balai Besar Pengembangan Industri Logam dan Mesin
- Santana, J.J et al . 2012. "*Characterization of the Corrosion Products Formed on Zinc in Archipelagic Subtropical Environments*". Int. J. Electrochem. Sci., 7 (2012) 12730 - 12741
- Szabo, S and I. Bakos. 2006. "*Impressed Current Cathodic Protection*". Vol. 24, Nos. 1-2
- Vera, Rosa et al. 2013. "*Atmospheric Corrosion of Galvanized Steel and Precipitation Runoff from Zinc in a Marine Environment*". J. Braz. Chem. Soc., Vol. 24, No. 3, 449-458, 2013
- Ye, et al. 1998. "*Characterization and adhesion strength study of Zn coatings electrodeposited on steel substrate*". 0257-8972/98/\$19.00 © 1998 Elsevier Science S.A. All rights reserved. PII S0257-8972 (98) 00490-3
- Yerikho, Wahyu Purwo Raharjo, dan Bambang Kusharjanta. 2013. "*Optimalisasi Variasi Tegangna dan Waktu terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan pada Plat Baja Karbon Rendah dengan Proses Elektroplating Menggunakan Pelapis Seng*". Volume 11 Nomor 2

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Yanuar Dwi Prasetyo dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 1 Januari 1994. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Angkasa Surabaya, SMP Negeri 1 Surabaya, dan SMA Negeri 2 Surabaya. Lulus SMA tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi 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 sebagai Staf Departemen Hubungan Luar (2013-2014), dan di LDJ Ash-Haabul Kahfi sebagai Kepala Divisi Penelitian dan Pengembangan Departemen Kaderisasi (2013-2014) lalu Kepala Departemen Kaderisasi LDJ Ash-Haabul Kahfi (2014-2015). Semasa kuliah penulis juga melakukan kegiatan *On the Job Training* di PT. AT Indonesia. Dan kegiatan perkuliahannya diakhiri dengan melakukan penelitian yang dijadikan Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Variasi Tegangan dalam Proses Elektroplating Seng pada Baja API 5L Grade B Terhadap Ketahanan Korosi, Kekuatan Adhesi dan Ketebalan Lapisan”**.

Email: yanuardwip@yahoo.co.id