



TUGAS AKHIR - TL 184834

**ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI
LARUTAN ELEKTROLIT ZINC CHLORIDE ACID
TERHADAP KETEBALAN, KEKUATAN LEKAT,
DAN KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1020
DENGAN METODE ELEKTROPLATING**

**MUHAMMAD HERDIADI
NRP. 02511540000128**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**THE EFFECT OF VARIATION OF ZINC
CHLORIDE ACID ELECTROLYTE SOLUTION
CONCENTRATION ON THICKNESS,
ADHESIVITY, AND CORROSION RESISTANCE
OF AISI 1020 STEEL WITH ELECTROPLATING
METHOD**

**MUHAMMAD HERDIADI
NRP. 02511540000128**

**Advisor
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2019**

(this page is intentionally left blank)

**ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI
LARUTAN ELEKTROLIT ZINC CHLORIDE ACID
TERHADAP KETEBALAN, KEKUATAN LEKAT, DAN
KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1020 DENGAN
METODE ELEKTROPLATING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Korosi dan Kegagalan Material
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD HERDIADI
NRP. 02511540000128

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA (Pembimbing I)

2. Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T (Pembimbing II)



(halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI
LARUTAN ELEKTROLIT ZINC CHLORIDE ACID
TERHADAP KETEBALAN, KEKUATAN LEKAT, DAN
KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1020 DENGAN
METODE ELEKTROPLATING**

Nama Mahasiswa : Muhammad Herdiadi
NRP : 02511540000128
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co-Pembimbing : Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T

Abstrak

Baja karbon rendah, termasuk AISI 1020, adalah salah satu tipe baja yang banyak digunakan pada industri maupun kehidupan sehari-hari contohnya untuk komponen tiang listrik, roda gigi, mur, rangka kendaraan, dan juga pada perkapalan. Pelapisan pada baja banyak diterapkan untuk meningkatkan nilai estetika dan melindungi benda kerja dari ancaman lingkungan yang dapat menyebabkan korosi pada material tersebut. Salah satu metode pelapisan yang umum digunakan adalah elektroplating yaitu penempatan logam lain pada permukaan logam induk yang akan dilindungi dengan ditambahkan bahan kimia dan bantuan arus listrik. Seng adalah salah satu logam yang sering digunakan untuk melapis baja dengan metode elektroplating karena bersifat proteksi anodik terhadap baja, mudah didapatkan dan harganya relatif murah. Dalam penelitian ini diteliti variasi nilai konsentrasi beberapa zat-zat penyusun larutan elektrolit Zinc Chloride Acid yakni $ZnCl_2$ (40; 55; 70 gr/liter) dan KCl (155; 175; 195 gr/liter) yang digunakan dalam proses elektroplating seng. Spesimen hasil penelitian diuji ketebalan lapisannya dengan alat Dry Film Thickness, kemudian diuji kekuatan lekat lapisannya dengan metode pull-off test menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester, lalu spesimen tersebut diuji laju korosinya dengan metode weight loss menggunakan metode immersion corrosion testing of

metals dan dilihat struktur permukaan lapisan tersebut menggunakan Scanning Electron Microscope. Hasil penelitian menunjukkan penambahan konsentrasi $ZnCl_2$ dan KCl pada larutan elektrolit Zinc Chloride Acid meningkatkan ketebalan lapisan coating hingga dapat mencapai nilai ketebalan maksimal sebesar $35,83 \pm 0,25 \mu m$ namun menurunkan kekuatan lekat lapisan coatingnya dengan perolehan nilai kekuatan lekat maksimum sebesar $15,34 \pm 0,01 MPa$. Selain itu, penambahan konsentrasi $ZnCl_2$ dan KCl pada larutan elektrolit Zinc Chloride Acid juga menurunkan nilai laju korosi pada spesimen uji dengan perolehan nilai laju korosi paling lambat sebesar $0,014087 \pm 0,0034 mmpy$.

Kata Kunci: Baja AISI 1020, Elektroplating, Kekuatan Lekat, Ketebalan, Korosi, Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid

**THE EFFECT OF VARIATION OF ZINC CHLORIDE
ACID ELECTROLYTE SOLUTION CONCENTRATION
ON THICKNESS, ADHESIVITY, AND CORROSION
RESISTANCE OF AISI 1020 STEEL WITH
ELECTROPLATING METHOD**

Student Name : Muhammad Herdiadi
NRP : 02511540000128
Department : Material Engineering
Advisor : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co-Advisor : Vania Mitha Pratiwi S.T., M.T.

Abstract

Low carbon steel, including AISI 1020, is one type of steel which is widely used in industrial and everyday life, for example for components of electric poles, gears, nuts, vehicle frames, and also in shipping. Coating on steel is widely applied to increase the magnificence and gives protection to workpieces from environmental threats which can cause corrosion. One of the coating methods is electroplating, it is the placement of other metals on the surface of the workpiece which will be protected by adding chemicals and electrical current. Zinc is one of the metals which is often used for coat steel with electroplating methods because it gives anodic protection, high availability and it is relatively cheap. This paper analyze the variation of the concentration of $ZnCl_2$ (40; 55; 70 gr / liter) and KCl (155; 175; 195 gr / liter) which compose the Zinc Chloride Acid electrolyte solution used in the zinc electroplating process. The specimens' coating thickness were tested use Dry Film Thickness apparatus, then the coating's adhesive strength was tested using the pull-off test method using the PosiTest AT-M Adhesion Tester apparatus, then the specimens' corrosion rate were tested using the weight loss method using the immersion corrosion testing of metals and the structure of the coated specimen's surface is seen using the Scanning Electron Microscope. The results showed that the

addition of concentrations of ZnCl₂ and KCl in the Zinc Chloride Acid electrolyte solution increased the thickness of the coating layer with a maximum thickness of 35.83 ±0.25 μm but it also lowered the coating adhesive strength with a maximum adhesive strength value of 15.34 ±0.01 MPa. In addition, the addition of concentrations of ZnCl₂ and KCl in the Zinc Chloride Acid electrolyte solution also reduced the corrosion rate value in the specimens with the lowest corrosion rate of 0.014087 ±0.0034 mmpy.

Keywords: AISI 1020 Steel, Electroplating, Thickness, Adhesion Strength, Zinc Chloride Acid Electrolyte Solution

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi 'alamin

Puja dan puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISA PENGARUH VARIASI KONSENTRASI LARUTAN ELEKTROLIT ZINC CHLORIDE ACID TERHADAP KETEBALAN, KEKUATAN LEKAT, DAN KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1020 DENGAN METODE ELEKTROPLATING”**. Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan wejangan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Allah SWT yang dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Bapak Heroe Joenianto dan Ibu Diah Kurnia Mirawati selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberi dukungan penuh terhadap penulis
3. Herdina Ramadhani dan Muhammad Herdianto Hanindyo selaku kakak dan adik kandung penulis yang selalu dapat mencerikan hari-hari penulis
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ilmu dan bimbingan serta wawasan kepada penulis

6. Ibu Vania Mitha Pratiwi, ST,MT selaku dosen wali dan dosen pembimbing 2 tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran saat menyusun tugas akhir ini
7. Bapak Askan, Mas Rio, dan Bapak Adi yang telah memfasilitasi penulis dalam proses pengerjaan penelitian ini di Semarang sehingga dapat berjalan dengan lancar

Penulis menyadari pula bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata, penulis berharap buku Tugas Akhir yang telah disusun ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca.

Surakarta, 4 Juli 2019
Penulis,

Muhammad Herdiadi
02511540000128

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian Tugas Akhir.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Baja Karbon	5
2.1.1 Baja Karbon Rendah	6
2.1.2 Baja Karbon Menengah.....	7
2.1.3 Baja Karbon Tinggi.....	7
2.2 Teknologi Pelapisan (Coating).....	8
2.3 Elektroplating	9
2.3.1 Konsep Dasar Elektroplating	9
2.3.2 Sel Elektrolisis	11
2.3.3 Hukum Elektrolisis Faraday	12
2.3.4 Elektrodeposisi.....	15
2.3.5 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Elektroplating	16
2.3.6 Bahan Pelapis Pada Elektroplating	20
2.4 Elektroplating Seng	22
2.4.1 Logam Seng	23
2.4.2 Larutan Elektrolit	25
2.4.3 Reaksi Reduksi-Oksidasi pada Anoda dan Katoda	31
2.5 Korosi	32
2.5.1 Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Korosi	33
2.5.2 Faktor-faktor yang Memengaruhi Laju Korosi	34
2.5.3 Penilaian Kerusakan Oleh Korosi	42

2.6 <i>State of the Art</i> (Penelitian Sebelumnya)	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	51
3.1 Diagram Alir Penelitian	51
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	52
3.2.1 Peralatan Penelitian.....	52
3.2.2 Bahan Penelitian	52
3.3 Prosedur Penelitian.....	52
3.3.1 Preparasi Spesimen Uji	52
3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid.....	54
3.3.3 Susunan Rangkaian Elektroplating	55
3.4 Proses Elektroplating	56
3.5 Pengujian SEM-EDX.....	57
3.6 Pengujian Ketebalan	60
3.7 Pengujian Kelekatan.....	63
3.8 Pengujian Laju Korosi	66
3.9 Rancangan Penelitian.....	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1 Analisa Pengamatan Permukaan Lapisan Coating	69
4.1.1 Pengamatan Permukaan Secara Makro	69
4.1.2 Pengamatan Permukaan Secara Mikro.....	70
4.2 Analisa Pengukuran Ketebalan Lapisan Coating	74
4.3 Analisa Pengujian Nilai Adhesive Lapisan Coating	80
4.4 Analisa Pengujian Laju Korosi.....	86
4.5 Penentuan Variasi Optimum	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	97
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	105
UCAPAN TERIMA KASIH	113
BIODATA PENULIS	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Proses Elektroplating	11
Gambar 2.2	Efisiensi Katoda pada Berbagai Larutan Elektrolit Elektroplating Seng	26
Gambar 2.3	Pengaruh Daya Oksidasi terhadap Laju Korosi	36
Gambar 2.4	Daya Oksidasi terhadap Jenis Material	37
Gambar 2.5	Pengaruh Kadar Oksigen terhadap Laju Korosi	38
Gambar 2.6	Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Laju Korosi	39
Gambar 2.7	Pengaruh Temperatur terhadap Laju Korosi	40
Gambar 2.8	Pengaruh Konsentrasi terhadap Laju Korosi	41
Gambar 2.9	Sel Galvanik pada Logam Platinum dan Seng	42
Gambar 2.10	Hasil Penelitian Yanjerappa A. Naik (2001)	47
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 3.2	Skema Susunan Rangkaian Elektroplating	56
Gambar 3.3	Alat Uji SEM dengan Merek FEI Inspect S50	57
Gambar 3.4	Mekanisme Kerja Alat SEM	59
Gambar 3.5	Alat Uji Ketebalan Dry Film Thickness	60
Gambar 3.6	Pengujian Ketebalan Lapisan Coating Menggunakan Alat DFT Elcometer	61
Gambar 3.7	Alat Uji Kelekatan PosiTest Adhesion Tester	63
Gambar 3.8	Penempelan Dolly pada Spesimen Uji	64
Gambar 3.9	Pengujian Pull-Off Test Menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester	65
Gambar 3.10	Skema Uji Kelekatan Spesimen	66
Gambar 3.11	Rangkaian Peralatan Uji Laju Korosi dengan Metode Pencelupan	67
Gambar 4.1	Tampak Visual Spesimen Uji (a) Sebelum dan (b) Sesudah Dilakukan Proses Elektroplating	69
Gambar 4.2	Pengamatan Permukaan Lapisan Coating Secara Mikro dengan Pembesaran 5000x	71
Gambar 4.3	Pengamatan Penampang Melintang Ketebalan Lapisan Deposit	73

Gambar 4.4	Grafik Hubungan Konsentrasi $ZnCl_2$ terhadap Ketebalan Deposit	76
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Konsentrasi KCl terhadap Ketebalan Deposit	78
Gambar 4.6	Hasil Pengujian Daya Lekat Lapisan Coating ...	81
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Konsentrasi $ZnCl_2$ terhadap Kelekatan Deposit	83
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Konsentrasi KCl terhadap Kelekatan Deposit	84
Gambar 4.9	Pengamatan dengan Perbesaran 100x pada Spesimen Uji Setelah Dilakukan Uji Korosi	88
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Konsentrasi $ZnCl_2$ terhadap Laju Korosi Spesimen	90
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Konsentrasi KCl terhadap Laju Korosi Spesimen	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Mekanik AISI 1020.....	7
Tabel 2.2	Komposisi Kimia AISI 1020	7
Tabel 2.3	Beberapa Jenis Coating yang Umum di Dunia	9
Tabel 2.4	Nilai Deret Volta.....	22
Tabel 2.5	Efisiensi Arus Katoda dari Berbagai Larutan Plating	27
Tabel 2.6	Persyaratan Larutan Elektrolit Zinc Plating.....	28
Tabel 2.7	Komposisi Larutan Elektrolit yang Umum Digunakan di Industri Elektroplating Seng	30
Tabel 2.8	Manual Teknis Komposisi Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid terbitan Atotech Canada Ltd.	30
Tabel 2.9	Gambaran dari Lima Kelas Korosi sesuai ISO 12944.....	44
Tabel 2.10	Nilai Konstanta untuk Setiap Satuan Unit	45
Tabel 3.1	Komposisi Konsentrasi Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid.....	54
Tabel 3.2	Tingkat Ketebalan Minimum Hasil Elektroplating Seng.....	62
Tabel 3.3	Rancangan Penelitian	68
Tabel 4.1	Hasil Uji EDX.....	74
Tabel 4.2	Ketebalan Lapisan Coating Setiap Konsentrasi	75
Tabel 4.3	Nilai Daya Lekat Lapisan Deposit Seng (Zn).....	82
Tabel 4.4	Nilai Weight Loss dan Laju Korosi Spesimen Setelah Pengujian Immersion Corrosion Test.....	89
Tabel 4.5	Hasil Skoring Lapisan Elektroplating Seng.....	94

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja adalah material logam yang umum dan banyak digunakan dalam dunia industri maupun kehidupan sehari-hari manusia selama berabad-abad. Konsumsi baja pada tahun 2018 sendiri mencapai angka sebesar 1.657,9 juta ton (World Steel Association, 2018). Callister (2009) menyebutkan bahwa baja merupakan paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung paduan unsur lainnya dan ada ribuan paduan yang memiliki komposisi yang berbeda. Salah satu jenis baja adalah baja AISI 1020 yang termasuk tipe baja karbon rendah. Baja AISI 1020 memiliki sifat mekanik yang mudah ditempa dan mudah dibentuk sesuai dimensi yang diinginkan dan memiliki kurang dari 0,20 % unsur karbon (C). Baja karbon rendah, termasuk baja AISI 1020, ini sendiri banyak diaplikasikan untuk bahan pada roda gigi, mur, baut, rangka kendaraan otomotif dan juga pada industri perkapalan di seluruh dunia.

Pada pengaplikasiannya, baja ini bersentuhan langsung dengan lingkungan yang menyebabkan baja ini rentan terkorosi. Fontana (1987) mengungkapkan bahwa kata korosi berasal dari bahasa latin yaitu *corrodere* yang artinya adalah perusakan logam atau berkarat. Hal ini juga diungkapkan oleh Trethewey dan Chamberlain (1991) bahwa korosi merupakan reaksi kimia atau elektrokimia pada suatu logam dengan lingkungannya yang bersifat korosif. Data dari NACE Internationals (2016) menyebutkan bahwa diperkirakan kerugian yang diakibatkan oleh korosi di seluruh dunia mencapai nilai sebesar US\$ 2,5 Triliun. Masih menurut data dari NACE Internationals (2016), dengan mengaplikasikan metode pencegahan dan perlindungan terhadap korosi dapat menghemat biaya hingga sebesar US\$ 375-875 Miliar. Oleh sebab itu, menurut Arthur (2007), baja sebelum dapat digunakan perlu untuk diberi sentuhan akhir atau *finishing* dengan

memberikan lapisan yang akan diterapkan pada permukaan baja untuk tujuan estetika (warna), sifat resistensi, ketahanan terhadap korosi atau memperkuat sifat dari baja.

Proses *finishing* pada logam sangat beragam dan banyak metodenya, salah satu metode yang sering digunakan adalah elektroplating. Proses elektroplating sendiri menurut ASTM B374-06 merupakan teknik pengendapan (deposisi) ion logam secara elektrolisis dimana endapan logam (deposit) melekat pada suatu elektroda, dengan tujuan untuk melindungi dan melapisi permukaan elektroda dengan sifat dan dimensi yang berbeda. Metode elektroplating ini sudah banyak berkembang dan sangat umum digunakan karena proses pengerjaan yang sederhana serta dapat menghasilkan lapisan permukaan logam yang kuat dan tahan lama. Proses elektroplating ini dapat diaplikasikan untuk pelapisan pipa agar tahan terhadap korosi atau benda-benda yang digunakan pada bagian kendaraan agar lebih kuat dan memiliki tampilan yang lebih baik (Arthur, 2007).

Seng (Zn) adalah salah satu logam yang sering digunakan dalam proses elektroplating untuk melapisi permukaan logam lain atau dalam hal ini yaitu baja karbon rendah. Hosny (1995) mengungkapkan bahwa logam seng sering digunakan karena logam ini bersifat proteksi anodik terhadap baja, cukup mudah didapatkan dan harganya relatif murah. Logam seng (Zn) akan membentuk lapisan oksida pada permukaan logam yang tahan terhadap serangan korosi sehingga lapisan ini akan melindungi logam yang ada didalamnya. Dengan adanya lapisan logam seng (Zn) pada permukaan benda maka dapat mengurangi tingkat korosi pada benda tersebut sehingga umur pakai benda akan menjadi lebih lama (Hosking, 2007).

Terdapat beberapa kondisi operasi yang memengaruhi proses elektroplating diantaranya yakni; material yang dilapis (benda kerja), tegangan listrik, lama waktu pelapisan, jarak antara anoda katoda pada bak plating, temperatur larutan elektrolit, pH larutan elektrolit, dan konsentrasi larutan elektrolit. Industri elektroplating tentunya memperhatikan beberapa faktor di atas untuk

mendapatkan hasil yang maksimum namun dengan biaya yang ekonomis. Dalam penelitian tugas akhir ini diteliti pengaruh variasi nilai konsentrasi beberapa zat-zat penyusun larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* yakni $ZnCl_2$ dan KCl terhadap ketebalan, kekuatan lekat, dan ketahanan korosi baja AISI 1020 hasil elektroplating seng.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam proses elektroplating baja karbon rendah dengan pelapis seng menggunakan larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* ini terdapat beberapa variabel yang dapat memengaruhi sifat lapisan seng pada benda kerja dari proses elektroplating tersebut, antara lain, konsentrasi ion-ion logam pelapis dan konsentrasi ion-ion klorida dalam larutan elektrolit tersebut. Sehingga hal-hal yang akan diteliti dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi $ZnCl_2$ dan KCl dalam larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan seng pada baja AISI 1020 dengan metode elektroplating?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi $ZnCl_2$ dan KCl dalam larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* terhadap ketahanan korosi baja AISI 1020 hasil elektroplating seng?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian Tugas Akhir ini terdapat beberapa variabel yang diabaikan dan dianggap tidak berubah atau tetap, antara lain:

1. Adanya bahan-bahan pengotor (*impurities*) pada larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* diabaikan.
2. Variabel tegangan, waktu kontak, jarak anoda-katoda, temperatur dan pH selama proses elektroplating dianggap konstan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini bertujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi ZnCl_2 dan KCl dalam larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* yang digunakan dalam proses elektroplating seng terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan seng yang dihasilkan pada baja AISI 1020.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi ZnCl_2 dan KCl dalam larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* yang digunakan dalam proses elektroplating seng terhadap ketahanan korosi lapisan seng yang dihasilkan pada baja AISI 1020.

1.5 Manfaat Penelitian Tugas Akhir

Diharapkan hasil penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan ini dapat memberikan berbagai manfaat yang luas terhadap institusi pendidikan maupun sektor industri. Penelitian ini diharapkan mampu menyajikan analisa pengaruh variasi nilai konsentrasi ZnCl_2 dan KCl yang digunakan dalam larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* pada proses elektroplating seng.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja Karbon

Baja karbon merupakan paduan antara besi dan karbon yang juga mengandung mangan dan beberapa variasi elemen sisa, seperti, belerang, fosfor dan silikon. Elemen-elemen sisa ini juga terdapat pada *raw material* atau ditambahkan selama proses produksinya untuk keperluan tertentu, seperti penambahan silikon untuk keperluan deoksidasi. Unsur-unsur tersebut dinamakan elemen sisa karena untuk membedakan unsur-unsur tersebut dari elemen paduan yang memang sengaja ditambahkan dengan jumlah tertentu. AISI telah mendefinisikan baja karbon sebagai paduan dari besi dan karbon yang mengandung mangan maksimum 1,65 wt%, Si kurang dari 0,6 wt%, Cu kurang dari 0,6 wt% dan tidak memiliki unsur campuran lain lagi. Umumnya juga ditambahkan belerang dan fosfor dengan kandungan maksimal 0,05 wt%.

Pada sistem SAE/AISI, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut :

1. *Nonsulfurized carbon steels, 10xx series*
2. *Resulfurized steels, 11xx series*
3. *Rephosphorized and resulfurized steels, 12xx series*
4. *High manganese carbon steels, 15xx series*

Sistem numerasi kombinasi SAE/AISI menggunakan kode numerik yang diawali dengan 10xx atau 10xxx untuk baja karbon. Sistem penomoran baru yang digunakan untuk baja karbon memiliki kode numeric G 10xxx. Pada kedua sistem tersebut, angka 10 mengindikasikan bahwa baja tersebut merupakan baja karbon, sedangkan “xxx” mengindikasikan kandungan nominal karbon dengan skala poin (1 poin = 0,01% C). Faktor utama yang mempengaruhi sifat dari baja karbon adalah kandungan karbon dan mikrostruktur, secara mayoritas mikrostruktur dari baja karbon ditentukan oleh komposisi dan perlakuan akhir yang dialaminya. Peningkatan kandungan karbon pada komposisi baja akan

meningkatkan kekuatan dan kekerasan, di sisi lain keuletan dan ketangguhannya akan menurun. (Campbell, 2008).

2.1.1 Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3 %, merupakan jenis baja yang paling banyak diproduksi. Digunakan pada keperluan struktural seperti bangunan dan jembatan, dan bentuk platnya digunakan untuk pipa sampai keperluan otomotif dalam bentuk plat. Kebutuhan akan baja saat ini adalah baja dengan sifat *formability*, *weldability*, kekuatan dan *fracture resistance* yang baik. Tren yang belakangan ini terjadi pada baja adalah untuk menghasilkan baja dengan kekuatan lebih tinggi dengan cara menurunkan kandungan karbon untuk meningkatkan *formability*, *weldability* dan *fracture resistance*.

Ciri khas mikrostruktur dari baja karbon rendah yang mengalami proses *hot-rolled* adalah mengandung ferit sebagai mikrokustituen terbanyak. Karena ferit memiliki tingkat kekuatan yang rendah, maka digunakan penambahan paduan dan perlakuan yang berbeda untuk meningkatkan kekuatannya. Pemaduan dan pemrosesan dapat digunakan untuk memperhalus ukuran butir ferit, yang akan meningkatkan kekuatan, *formability* dan *fracture resistance*. (Campbell, 2008)

2.1.1.1 Baja AISI 1020

AISI 1020 merupakan salah satu baja yang termasuk ke dalam kelompok baja karbon rendah (*low carbon steel*) dimana komposisi kimianya terdiri atas besi (Fe), karbon (C), Manganese (Mn), Silikon (Si), Sulfur (S) dan Posfor (P). AISI 1020 sangat umum digunakan (*general purpose structural steel*) untuk aplikasi struktural seperti bangunan, jembatan, plat kapal, tank, automotif.

Dibandingkan dengan standar baja lainnya, AISI 1020 memiliki kekuatan tarik dan ketangguhan yang bagus, plastisitas yang baik, mudah untuk di las (*weldability*), mudah untuk di

machining. Untuk mengetahui nilai sifat mekaniknya, dapat mengacu pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Mekanik AISI 1020 (Azo Materials, 2012)

Material	Hardness, Brinell	Tensile Strength, Ultimate	Tensile Strength, Yield
AISI 1020	111	394.72 MPa	294.74 MPa

AISI 1020 memiliki ukuran ketebalan pelat yang bervariasi, dimulai dari *steel sheet* hingga *super heavy steel plate*. AISI 1020 juga memiliki komposisi yang berbeda tergantung dengan penerapannya. Berikut merupakan komposisi yang terkandung dalam AISI 1020 secara umum pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia AISI 1020 (Azo Materials, 2012)

Material	C	Fe	Mn	P	S
AISI 1020	0.17 - 0.23 %	99.08 - 99.53 %	0.30 - 0.60 %	≤ 0.040 %	≤ 0.050 %

2.1.2 Baja Karbon Menengah

Baja dengan kandungan karbon 0,3 sampai 0,6 % digunakan pada aplikasi di mana dibutuhkan sifat mekanik yang tinggi. Baja jenis ini biasanya dikeraskan dengan cara *quench* dan *temper heat treatment* atau dengan *cold working*. Peningkatan dalam sifat mekanik, ketebalan atau kedalaman pengerasan biasanya dibutuhkan kandungan yang lebih tinggi dari karbon, mangan atau keduanya. Baja tersebut juga dapat dikeraskan dengan cara *flame* atau *induction heat treatment*. (Campbell, 2008)

2.1.3 Baja Karbon Tinggi

Baja dengan kandungan karbon antara 0,6 sampai 1% digunakan untuk aplikasi di mana kekuatan tinggi dan ketahanan aus yang tinggi diperlukan secara bersamaan. Secara umum, *cold forming* tidak digunakan, dan memiliki *weldability* yang rendah.

Secara praktik, semua baja karbon tinggi dikeraskan dengan cara *quenching* dan *tempering*. *Ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh baja karbon tinggi berkisar antara 620 sampai 869 MPa (90 sampai 126 ksi), sedangkan rentang elongasi antara 9 sampai 25%. Dalam banyak kasus, baja karbon tinggi mengalami *heat treatment* dengan *quenching* dan *tempering* menggunakan oli. *Quenching* dengan menggunakan air digunakan untuk bagian yang lebih keras atau saat pemotongan bagian tepi diperlukan. Karena ketahanan ausnya yang baik saat mengalami *heat treatment*, baja karbon tinggi biasa digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan aus dan abrasi yang tinggi. (Campbell, 2008).

2.2 Teknologi Pelapisan (*Coating*)

Teknologi pelapisan atau yang lebih dikenal dengan istilah *coating* adalah suatu teknologi untuk melapisi bagian permukaan dari suatu material. Anggapan yang umum di masyarakat selama ini tentang aplikasi *coating* baik itu *coating* organik, inorganik ataupun metalik ialah *coating* hanya melindungi benda dari serangan lingkungan pada bagian permukaannya saja yang memberi dampak memperpanjang waktu pakai atau *lifetime* benda tersebut. Pada prakteknya, *coating* tidak hanya melindungi permukaan benda saja melainkan melindungi keseluruhan komponen benda tersebut. Dengan demikian dampaknya ialah, dengan menggunakan material yang relatif lebih sedikit atau relatif lebih murah dan digabungkan dengan penghematan energi akan menghasilkan dampak ekonomi yang cukup baik dan penghematan dalam hal teknologi pelapisan permukaan. Tabel 2.3 menunjukkan beberapa jenis proses *coating* yang jamak ditemui di industri dan dapat digunakan untuk melindungi permukaan suatu benda sehingga dapat memperpanjang *lifetime* dari suatu komponen atau peralatan.

Tabel 2.3 Beberapa Jenis *Coating* yang Umum Ditemui di Dunia (Kanani, 2005)

<i>Process</i>	<i>Process Variants</i>
<i>Evaporation</i>	<i>Chemical Vapour Deposition (CVD)</i>
	<i>Physical Vapour Deposition (PVD)</i>
	<i>Sputtering</i>
<i>Hot Metal Process</i>	<i>Weld-surfacing</i>
	<i>Hot-dip Galvanizing</i>
	<i>Roll-coating</i>
<i>Painting</i>	<i>Application of Inorganic Coatings</i>
	<i>Application of Organic Coatings</i>
	<i>Appilcation of low-friction Coatings</i>
<i>Thermal Spraying</i>	<i>Atmospheric-pressure Plasma Spraying</i>
	<i>Low-pressure Plasma Spraying</i>
	<i>Flame Spraying</i>
<i>Metallizing</i>	<i>Electroless Metal Coatings</i>
	<i>Electroplated Metal Coatings</i>

Apapun dalam berbagai teknik *coating* yang jamak digunakan, hampir selalu membutuhkan proses awal atau *pre-treatment* dan pembersihan permukaan yang sesuai agar hasil pelapisan pada permukaan benda dapat maksimal. (Kanani, 2005).

2.3 Elektroplating

2.3.1 Konsep Dasar Elektroplating

Elektroplating adalah suatu proses elektrodposisi untuk memproduksi suatu pelapisan yang padat, homogen dan dapat melekat dengan baik, biasanya digunakan pada logam atau paduan, pada permukaan benda kerja dengan memanfaatkan arus listrik. Pelapisan biasanya digunakan untuk fungsi dekoratif dan/atau fungsi perlindungan, untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu pada permukaan benda kerja. Permukaan benda kerja dapat berupa konduktor, seperti logam, atau non konduktor, seperti plastik.

Produk elektroplating secara luas digunakan untuk berbagai industri, seperti otomotif, kapal, mesin, elektronik, pertahanan dan industri mainan. Komponen utama dari proses elektroplating adalah sel elektrolitik (unit elektroplating). Dalam sel elektrolitik (unit elektroplating) sebuah arus akan berjalan melewati sebuah wadah yang mengandung elektrolit, anoda dan katoda.

Benda kerja yang akan diplating merupakan katoda (kutub negatif). Sementara anoda dapat menjadi salah satu dari dua tipe : anoda korban (anoda dapat larut) dan anoda permanen (anoda inert). Anoda korban terbuat dari logam yang dapat didepositkan. Anoda permanen hanya dapat menjadi pelengkap pada sirkuit elektrik, tapi tidak dapat menyediakan logam baru sebagai sumber, menggantikan apa yang telah dipindahkan dari larutan oleh proses deposisi pada katoda. Platina dan karbon biasanya digunakan sebagai anoda inert.

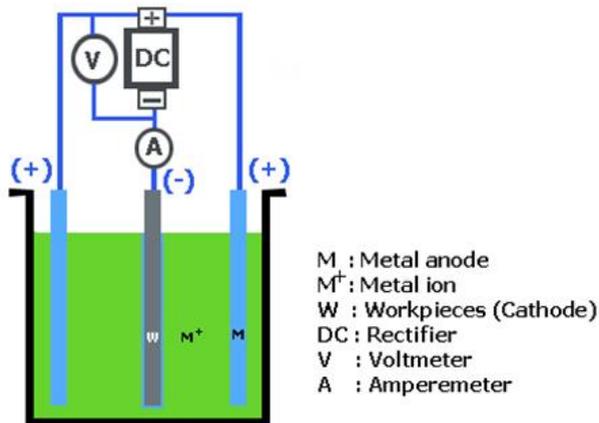
Elektrolit merupakan konduktor elektrik yang membawa arus listrik dengan ion, bukan dengan elektron bebas (seperti pada logam). Pada aplikasinya, ion positif pada elektrolit akan bergerak menuju katoda dan ion negatif akan bergerak menuju anoda. Perpindahan ion melalui elektrolit ini akan menegakkan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

Pada teknologi pengerjaan logam, elektroplating digunakan sebagai proses *finishing* atau pengerjaan akhir suatu logam. Selain memberikan tampilan yang lebih menarik, elektroplating juga dapat menambah kekerasan dan ketahanan aus logam, mencegah timbulnya korosi, serta menambah ketebalan logam (Supriadi,

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

2.3.2 Sel Elektrolisis

Saat arus listrik melewati suatu elektrolit, reaksi kimia akan terjadi saat adanya hubungan antara sirkuit listrik dan larutan elektrolit. Proses ini disebut elektrolisis yang terjadi pada sel elektrolit. Elektroplating merupakan salah satu tipe spesifik dari elektrolisis. Di samping elektroplating, elektrolisis juga secara luas digunakan untuk preparasi halogen dan klorin, dan pemurnian logam, seperti tembaga dan seng. Pada Gambar 2.1 terlihat skema proses elektroplating secara sederhana.



Gambar 2.1 Skema Proses Elektroplating (Huang, 2006)

Di dalam metode elektroplating terdapat empat komponen utama, yaitu sebagai berikut :

- a. Sirkuit Eksternal, terdiri dari sebuah sumber arus searah (DC), yang akan menyalurkan arus listrik menuju tangki

- plating* dan menghubungkan beberapa instrumen seperti ammeter, voltmeter dan berfungsi untuk mengatur voltase dan kuat arus
- b. Katoda, merupakan kutub negatif dimana pada katoda terjadi reaksi reduksi dan menerima elektron dari sirkuit luar
 - c. Anoda, merupakan kutub positif, dimana pada anoda terjadi reaksi oksidasi dan melepaskan elektron keluar sirkuit
 - d. Larutan *plating*, yang umumnya berbentuk cairan dan juga biasa disebut sebagai “*bath*”

Larutan plating ditempatkan pada tangki plating, tangki tersebut harus berupa material yang sesuai dengan larutan yang berada di dalamnya : terkadang berupa baja lunak untuk larutan alkalin, dan baja-baja yang memiliki resistansi terhadap larutan asam. Selain dengan baja, dapat juga digunakan karet, berbagai variasi plastik atau bahkan gelas. (Poyner, 1987)

2.3.3 Hukum Elektrolisis Faraday

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

Berdasarkan hasil pengamatan Faraday :

1. Masa dari pembentukan produk utama dengan elektrolisis di anoda atau katoda berbanding lurus dengan arus yang masuk (Q)

2. Untuk arus yang diberikan, ratio massa dari produk utama sama dengan ratio kesetimbangan kimia (massa dibagi dengan perubahan valensi)

Hukum pertama menjelaskan bahwa jumlah material yang didepositkan pada elektroda akan sebanding dengan jumlah listrik yang digunakan. Hukum kedua Faraday menjelaskan bahwa jumlah zat yang dibebaskan dengan pemberian kuantitas listrik sebanding dengan ekuivalen elektrokimia. Ekuivalen elektrokimia dari suatu elemen adalah berat atomiknya dibagi dengan perubahan valensi yang terjadi selama reaksi. Bila dilihat dari reaksi spesifik, satu elemen mungkin memiliki berat ekuivalen yang berbeda, meskipun elemen tersebut hanya memiliki satu berat atom.

Konstanta Faraday (F) menunjukkan jumlah muatan listrik yang dibawa per mol atau jumlah elektron Avogadro. Konstanta Faraday didapatkan dari perhitungan Persamaan 2.1 berikut :

$$\begin{aligned}
 F &= e \cdot N_a \\
 F &= 1,6 \times 10^{-19} \cdot 6,02 \times 10^{23} \\
 F &= 9,65 \times 10^4 \text{ C/mol} \dots\dots\dots(2.1)
 \end{aligned}$$

Sedangkan muatan total yang digunakan dalam deposisi dapat dicari sebagai produk arus dan waktu deposisi dengan arus deposisi yang dipertahankan konstan. Total muatan tersebut dapat dicari dengan Persamaan 2.2 :

$$Q = I \cdot t \dots\dots\dots(2.2)$$

Dari hukum Faraday bahwa pada elektrolit zat yang diendapkan berbanding lurus dengan waktu dan arus listrik. Berat deposit yang dihasilkan dapat dicari dengan cara mengalikan mol logam yang tereduksi dengan berat atomik dari logam yang terdeposit sesuai Persamaan 2.3 berikut:

$$W = \frac{M_w}{n \cdot F} \cdot I \cdot t \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

- W = Berat logam yang diendapkan (gram)
 Mw = Massa molekul atom (gram)
 I = Arus listrik (Ampere)
 t = Waktu (detik)
 n = Elektron valensi
 F = Bilangan Faraday (96.500)

Secara matematis ketebalan deposit lapisan *coating* yang terbentuk, menurut Lowenheim dirumuskan sesuai Persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$\delta = \frac{W}{\rho \cdot A} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

- δ = Tebal lapisan terbentuk (cm)
 W = Berat lapisan yang terbentuk (gr)
 ρ = Massa jenis pelapis (gr/cm³)
 A = Luas permukaan spesimen (cm²)

Ketebalan deposit lapisan *coating* yang dihasilkan dapat pula dihitung dengan persamaan hasil substitusi Persamaan (2.3) dan Persamaan (2.4) sehingga menjadi Persamaan 2.5 berikut :

$$\delta = \frac{Mw}{n \cdot F \cdot \rho \cdot A} \cdot I \cdot t \dots \dots \dots (2.5)$$

(Sugiyarta, 2012)

Efisiensi plating pada umumnya dinyatakan sebagai efisiensi arus anoda maupun katoda. Efisiensi katoda yaitu arus yang digunakan untuk pengendapan logam pada katoda dibandingkan dengan total arus masuk. Arus yang tidak dipakai untuk pengendapan digunakan untuk penguraian air membentuk gas hidrogen, hilang menjadi panas atau pengendapan logam-logam lain sebagai impuritas yang tak diinginkan. Efisiensi anoda yaitu perbandingan antara jumlah logam yang terlarut dalam

elektrolit dibanding dengan jumlah teoritis yang dapat larut menurut Hukum Faraday. Kondisi plating yang baik bila diperoleh efisiensi katoda sama dengan efisiensi anoda, sehingga konsentrasi larutan bila menggunakan anoda aktif akan selalu tetap. Efisiensi arus katoda sering dipakai sebagai pedoman menilai apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda sehingga didapat efisiensi plating sebesar 100 % ataukah lebih kecil. Kebocoran arus listrik, larutan yang tidak homogen dan elektrolisis air merupakan penyebab rendahnya efisiensi. Efisiensi arus katoda dituliskan dalam Persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$\eta = \frac{W_{\text{aktual}}}{W_{\text{teoritis}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana :

W aktual = Berat hasil penimbangan (gr)

W teoritis = Berat teoritis (gr)

(Huang, 2006)

2.3.4 Elektrodeposisi

Elektrodeposisi mengarah kepada proses pertumbuhan film yang terdiri dalam formasi dari *coating* metalik terhadap material dasar yang terjadi melalui proses reduksi elektrokimia ion logam yang berasal dari elektrolit. Teknologi yang berhubungan dengan hal ini biasa disebut dengan istilah elektroplating. Disamping produksi *coating* metalik, reduksi elektrokimia logam juga digunakan untuk ekstraksi logam yang dimulai dari *ore* (*electrometallurgy*) atau untuk proses reproduksi *model* untuk membentuk objek secara langsung menjadi bentuk akhir mereka (*electroforming*). Dalam banyak kasus, deposit metalik yang dihasilkan berupa kristalin; proses ini dapat juga disebut *electrocrystallization*.

Proses elektrodeposisi terdiri oleh imersi dari objek yang akan di *coating* dalam wadah yang mengandung elektrolit dan elektroda, diikuti dengan hubungan dari dua elektroda kepada sumber listrik untuk membuat aliran arus. Objek yang akan di

coating dihubungkan kepada kutub negatif dari sumber listrik, kemudian ion logam akan tereduksi menjadi atom logam yang akan membentuk deposit pada permukaan spesimen. (Gamburg, 2011)

Telah diketahui secara umum dalam ilmu material bahwa paduan dapat meningkatkan kualitas yang tidak teroptimalkan dari material dasar. Hal ini secara khusus benar untuk paduan yang dielektrodeposisikan. Beberapa sifat penting material seperti, kekerasan, keuletan, kekuatan tarik, modulus Young, ketahanan korosi, *solderability*, ketahanan aus dan ketahanan gesek mungkin saja untuk ditingkatkan. Pada saat yang sama beberapa sifat yang bukan merupakan karakteristik dari metal dasar seperti, *high magnetic permeability*, sifat magnetik dan elektrik lain, struktur amorf dan lainnya, dapat juga dihasilkan. Dalam beberapa kasus, *coating* paduan mungkin saja lebih cocok untuk elektroplating berlapis dan perawatan konversi kimia.

Beberapa paduan mungkin lebih mudah dihasilkan dengan cara elektrodeposisi daripada dengan cara metalurgi. Hal ini secara khusus benar untuk paduan yang tersusun dari logam dengan perbedaan yang besar dalam temperatur leleh atau tidak bisa dicampur dengan fase cair. Beberapa logam yang tidak dapat didepositkan dari larutan cair seperti, Ti, V, W, Nb, Zr dan lain-lain, logam-logam tersebut dapat didepositkan dari lelehan garamnya. (Jović, 1995)

2.3.5 Faktor-Faktor yang Berpengaruh pada Elektroplating

Berikut ini merupakan beberapa faktor yang berpengaruh terhadap hasil dari proses elektroplating:

1. Konsentrasi Elektrolit

Elektrolit terdiri dari dua komponen, yakni komponen utama yang berupa senyawa logam yang akan melapisi katoda dalam bentuk garam terlarut, serta asam atau basa yang berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas atau daya listrik. Selama proses elektroplating berlangsung setimbang, maka konsentrasi elektrolit akan tetap terjaga. Akan tetapi pada

prakteknya terjadi perubahan konsentrasi yang dikarenakan adanya penguapan dan ketidakseimbangan proses yang mengakibatkan mengendapnya ion logam elektrolit ke katoda. Pada umumnya konsentrasi logam yang terlalu tinggi pada elektrolit akan mengakibatkan menurunnya kekilapan dan ketidakrataaan permukaan lapisan. Sementara jika kadar logam dalam elektrolit terlalu rendah akan menyebabkan proses berjalan lambat.

Konsentrasi larutan elektrolit berhubungan juga dengan kekuatan ionik. Harris (2007) menyebutkan bahwa kekuatan ion adalah ukuran konsentrasi total ion dalam larutan. Semakin tinggi suatu ion, semakin banyak ion itu dihitung. Kekuatan ionik sendiri dapat dirumuskan dalam Persamaan 2.7 di bawah sebagai berikut:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum ci \times Zi^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

- μ = kekuatan ion
- ci = konsentrasi setiap ion (mol/liter)
- Zi = valensi

2. Sirkulasi Elektrolit

Distribusi ion-ion di dalam elektrolit seringkali tidak merata yang disebabkan adanya kelebihan ion negatif di sekitar katoda, sedangkan di sekitar anoda sering terjadi kelebihan ion positif. Untuk pemeratakan distribusi ion-ion baik positif maupun negatif di dalam elektrolit diperlukan sikulasi elektrolit sehingga terjadinya polarisasi dapat dihindari. Sirkulasi elektrolit dapat dilakukan dengan menggunakan pompa atau dengan hembusan udara dari *blower* melalui pipa-pipa yang dipasang di dasar dan tepi tangki.

3. Rapat Arus

Berdasarkan hukum Faraday, banyaknya endapan sebanding dengan kuat arus. Akan tetapi kenyataan berbicara

sedikit berbeda, di mana besaran yang diperlukan dalam proses elektroplating adalah rapat arus, yaitu arus per satuan luas, yang dinyatakan dalam Amper/dm² (A/dm²). Agar kualitas endapan pada katoda berkualitas baik dan tidak sampai terbakar, maka perlu diperhatikan besaran rapat arus katoda.

4. Tegangan

Tegangan yang dipakai dalam proses elektroplating bergantung pada jenis, komposisi, dan kondisi elektrolit. Pada dasarnya, rapat arus dapat dinaikkan dengan menaikkan tegangan, akan tetapi hal ini dapat mengakibatkan terjadinya polarisasi dan tercapainya tegangan batas, kondisi di mana tidak terjadi lagi aliran arus melalui elektrolit.

5. Jarak Anoda-Katoda

Jarak anoda-katoda menentukan besarnya hantaran arus listrik dan sangat berpengaruh terhadap keseragaman tebal lapisan. Besarnya hantaran berbanding terbalik dengan jarak. Apabila jarak anoda-katoda kecil, maka hambatan menjadi kecil dan konduktivitas besar sehingga untuk menghasilkan arus yang sama diperlukan tegangan yang lebih rendah.

6. Distribusi Arus

Lintasan arus dari anoda ke katoda tidak semuanya lurus, melainkan cenderung melengkung, terutama yang berasal dari ujung anoda ke ujung katoda. Keadaan ini mengakibatkan rapat arus pada ujung-ujung elektroda menjadi lebih besar sehingga endapan yang terbentuk pada bagian ujung cenderung lebih tebal. Pada proses elektroplating untuk benda-benda yang rumit sering dihasilkan permukaan yang tidak rata, terutama di daerah-daerah yang berlekuk. Untuk mengatasinya, biasanya digunakan anoda sekunder untuk daerah-daerah tersebut. Sedangkan pada daerah dengan rapat

arus tinggi (biasanya di bagian ujung) dapat dipasang pemecah arus yang biasanya berupa plastik berbentuk sikat gigi.

8. Temperatur

Temperatur memiliki pengaruh terhadap konduktivitas. Semakin tinggi temperatur, maka konduktivitas semakin tinggi dan berakibat hantaran arus juga semakin meningkat. Akan tetapi setiap jenis proses elektroplating memiliki rentang temperatur optimum, di mana jika temperatur proses berada di atas temperatur maksimum akan menyebabkan endapan terbakar dan kerusakan aditif.

9. Daya Tembus (*Throwing Power*)

Daya tembus merupakan kemampuan proses elektrolitik untuk menutup katoda dengan lapisan seseragam mungkin, yang ditentukan oleh pengaturan geometri tangki dan berbagai parameter proses lainnya, termasuk juga jenis elektrolit.

10. *Epitaxy dan Leveling*

Epitaxy didefinisikan sebagai lapisan mengikuti bentuk dan struktur dari benda kerja sebagai katoda, sehingga benda kerja kasar akan menghasilkan permukaan lapisan yang kasar. Sedangkan *leveling* adalah kebalikan dari *epitaxy*, di mana lapisan meratakan bagian-bagian benda kerja yang cekung, sehingga menghasilkan permukaan lapisan yang rata (*selevel*). *Leveling* dapat diperoleh dengan penambahan aditif pada proses elektroplating.

11. Aditif

Aditif merupakan zat tambahan dengan jumlah kecil yang dimaksudkan untuk mengatur pertumbuhan kristal sehingga diperoleh hasil plating dengan kualitas yang baik meliputi kecerahan dan kekilapan (*bright*) dan kekerasan (*hard*). Pemberian aditif dapat pula memperbaiki *leveling*. Aditif umumnya berupa senyawa organik yang bekerja pada rentang

temperatur tertentu dan dapat rusak selama proses berlangsung.

12. Kontaminasi

Keberadaan benda padat yang melayang-layang, tersuspensi maupun terlarut dalam elektrolit dapat menyebabkan kontaminasi bagi elektrolit yang berpengaruh terhadap kualitas hasil elektroplating. Padatan tersebut dapat pula ikut mengendap di katoda, sehingga hasilnya menjadi kasar, terjadi noda-noda, atau bintik-bintik pada permukaan lapisan. Akibat lain dari adanya kontaminan pada elektrolit adalah elektrolit menjadi rusak, sehingga proses pengendapan ion logam pada katoda menjadi terganggu. (Irwanto, 2010)

2.3.6 Bahan Pelapis Pada Elektroplating

Pada proses elektroplating, bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai pelapis pada benda kerja diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Seng (Zn)

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

2. Tembaga (Cu)

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

3. Nikel (Ni)

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

4. Khrom (Cr)

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

5. Mangan (Mn)

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

Logam yang digunakan sebagai bahan pelapis elektroplating dalam perlindungan korosi adalah logam yang lebih aktif dibandingkan baja. Hal ini dapat kita lihat dari potensial reduksi logam yang terdapat pada Tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2.4 Nilai Deret Volta (Silberberg, 2000)

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

2.4 Elektroplating Seng

Salah satu logam yang banyak digunakan di dunia industri untuk melapisi baja secara elektroplating adalah logam seng. Penggunaan lapisan seng pada perlindungan baja dengan

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

Pelapisan baja dengan seng dianggap sebagai metode yang efektif untuk perlindungan terhadap adanya korosi udara. Seng melindungi baja melalui mekanisme kontrol katodik dan lapisan bertindak sebagai penghalang antara baja dan lingkungan. Seperti proses pelapisan logam lainnya, proses elektroplating dipengaruhi oleh parameter plating seperti kepadatan arus, plating waktu, temperatur, dan komposisi dari bahan yang akan dijadikan sebagai pelapis (elektrolit) (Hosny, 1995).

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

2.4.1 Logam Seng

Dalam proses elektroplating seng, logam seng bertindak sebagai anoda yang akan dipergunakan untuk melapis benda kerja (katoda) yang dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah. Seng logam (Ar : 65,38) merupakan logam yang berwarna putih-kebiruan. Logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150 °C. Seng melebur pada temperatur 425 °C dan mendidih pada 906 °C (Setiono, 1990). Seng adalah unsur yang tergolong kedalam golongan II B pada sistem periodik. Keberadaan seng termasuk sangat jarang, dan menjadi urutan ke dua puluh lima dalam urutan kelimpahan di lithospher. Seng kurang melimpah daripada unsur yang kurang terkenal seperti zirkonium, vanadium, dan stronsium

tetapi lebih banyak jika dibandingkan dengan tembaga. Seng sudah terkenal sejak lama dalam bentuk paduan kuningan tembaga-seng. Seng biasanya ditemukan di alam sebagai sulfida, dan merupakan bijih paling penting sebagai seng sulfide (ZnS) yang dikenal sebagai spalerit atau zinc blende (simpler blenda) yang berdasarkan pada bentuk kristalnya. Bijih oksida juga diperlukan seperti seng karbonat dan franklinite (campuran dari seng-mangan-besi oksida). Seng merupakan unsur yang diperlukan untuk kehidupan tumbuhan dan hewan, dan kekurangan seng akan menyebabkan banyak penyakit pada hewan dan tumbuhan. Dan merupakan unsur penting yang diperlukan enzim untuk proses metabolisme.

Bijih seng ditambang dari seluruh dunia. Total produksi di dunia (kandungan seng dalam bijih) sekitar 5,5 juta ton. Beberapa negara mengolah bijih seng, dan sebagian diekspor ke berbagai pengolahan di dunia. Setelah ditambang dan kemudian sudah diproses menjadi konsentrat, bijih dipanggang menjadi oksida, produksi dalam jumlah yang besar dari oksida sulfur akan menimbulkan masalah pencemaran yang diolah dengan cara dilarutkan sehingga menghasilkan sulfur atau asam sulfat. Adanya oksigen akan dikurangi dengan karbon (biasanya karbon monoksida) pada logam seng atau dilarutkan dalam asam sulfat untuk membentuk seng sulfat, yang mana dielektrolisis dengan anoda inert timbal atau timbal- paduan perak 1% untuk memproduksi seng pada katoda dan regenerasi asam sulfat yang digunakan untuk melarutkan lebih banyak bijih yang sudah dipanggang (Hosking, 2007).

Penggunaan seng secara luas adalah pada produksi pengecoran paduan seng (*zinc alloy die casting*). Aplikasi ini digunakan sekitar 41% dari konsumsi seng di Amerika Serikat. *Zinc casting* diperlukan untuk elektroplating karena kandungan yang tinggi dari seng. Di lain tempat seng digunakan untuk *galvanizing* baja. Aplikasi ini sekitar 38% digunakan untuk memproduksi baja plating dari seng. Jumlah terbesar galvanizing di dicapai dengan metode *hot dipping* (pencelupan), tetapi

sebagian kecil elektro-galvanis dan pentingnya metode elektrolisis diharapkan dapat meningkat. Kuningan (paduan tembaga-seng) digunakan sekitar 12% dari produksi seng, sehingga tiga aplikasi ini di antaranya mencapai lebih dari 90% dari semua penggunaan *zinc* (Lowenheim, 1978). Pada bidang otomotif pelapisan seng atau *galvanizing* pada baja secara terus menerus menjadi bahan konstruksi yang utama untuk badan kendaraan yang diproduksi secara massal. Pelapis dengan ketahanan korosi lebih unggul dibandingkan dengan baja galvanis dapat menghilangkan kebutuhan untuk perlindungan tambahan di daerah korosi yang sensitif seperti bagian tertutup dan celah-celah antara panel (Hosking, 2007).

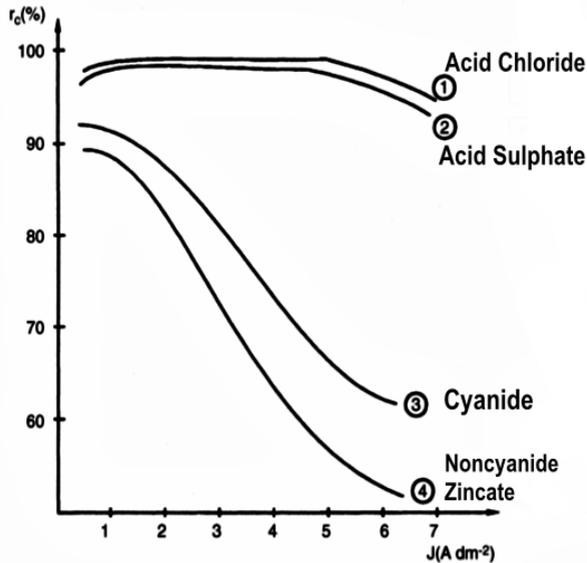
2.4.2 Larutan Elektrolit

Istilah elektrolit didefinisikan sebagai media konduktif untuk sebagian besar proses elektroplating. Elektrolit yang paling umum adalah larutan encer dengan cairan kimia yang larut dalam air. Saat arus listrik dialirkan melewati larutan melalui anoda dan katoda, deposisi logam terjadi pada katoda. Elektrolit memiliki variasi pada pH dan mungkin saja merupakan larutan asam, netral dan alkali di mana nilai pH biasanya <3 , $=7$ dan >9 . Karena alasan ini, semua elektrolit pada proses plating menambahkan asam, alkali atau buffer. (Kanani, 2005)

Setiap jenis proses pelapisan memiliki larutan elektrolit yang berbeda-beda tergantung pada sifat-sifat elektrolit yang diinginkan. Larutan elektrolit selalu mengandung unsur garam dari logam yang akan dilapisi. Garam-garam tersebut sebaiknya dipilih yang mudah larut tetapi anionnya tidak mudah tereduksi.

Sierka (2015) menyebutkan bahwa nilai efisiensi katoda yang tinggi pada proses pelapisan seng umumnya didapatkan pada bak larutan elektrolit yang bersifat asam, baik itu dalam klorida maupun sulfat. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2 dibawah, proses asam klorida menunjukkan efisiensi katoda konstan di atas 90% dengan meningkatnya densitas arus, sedangkan efisiensi

katoda dari larutan pelapis seng non-sianida menurun di bawah 60% seiring dengan meningkatnya kepadatan arus.



Gambar 2.2 Efisiensi Katoda pada Berbagai Larutan Elektrolit Elektroplating Seng (Sierka, 2015)

Pola efisiensi seperti ini terlihat juga pada proses pelapisan untuk logam-logam yang lain. Sebagai contoh, pada Tabel 2.5 terlihat beberapa persentase efisiensi pelapisan untuk berbagai logam yang umum di industri.

Tabel 2.5 Efisiensi Arus Katoda dari Berbagai Larutan Plating
(Sierka, 2015)

Metal Deposit	Larutan Elektrolit	Efisiensi Katoda (%)
Ag	CN	100
Au	Acid, Neutral, CN	50-100
Cr	CrO ₃ /H ₂ SO ₄ CrO ₃ /SO ₄ -F	10-15 18-25
Cu	Acid SO ₄ , CN (High efficiency), CN (Low efficiency)	97-100 30-45 90-95
Ni	Acid	93-98
Pb	Acid	95-100
Sn	Acid Alkaline	90-95 70-95
Zn	Acid CN	95 50-80

Pada industri elektroplating seng yang umum di seluruh dunia, terdapat tiga macam jenis larutan elektrolit yang jamak digunakan, yakni *Cyanide Zinc Plating*, *Acid Chloride Plating*, dan *Alkaline Non-Cyanide Plating*. Ketiga proses tersebut membutuhkan beberapa kondisi tambahan lain agar berhasil. Tabel 2.6 memperlihatkan versi singkat dari beberapa persyaratan khusus untuk setiap proses. Misalnya, proses asam klorida membutuhkan agitasi udara sementara yang lain tidak. Agitasi udara akan merusak lapisan seng untuk proses sianida dan non-sianida alkali karena CO₂ dihasilkan dengan agitasi udara. (Sierka, 2015).

Tabel 2.6 Persyaratan Larutan Elektrolit Zinc Plating (Sierka, 2015)

Persyaratan	<i>Acid Chloride Zinc</i>	<i>Alkaline Non-Cyanide Zinc</i>	<i>Cyanide Zinc</i>
Konduktivitas Larutan	Sangat Baik	Cukup	Cukup
Agitasi Udara	Dibutuhkan	Tidak	Tidak
Pemanasan Larutan	Diperlukan	Diperlukan	Diperlukan
Penyaringan Larutan	Ya	Ya	Tidak
Pengaturan pH	Diperlukan	Tidak	Tidak
Pengolahan Limbah	Simpel	Simpel	Kompleks

Larutan asam klorida memiliki konduktivitas yang lebih besar karena keberadaan KCl. Konduktivitas larutan alkali non-sianida buruk pada daerah dengan kepadatan arus rendah dan sangat baik pada daerah dengan kepadatan arus tinggi. (Sierka, 2015)

2.4.2.1 Larutan Elektrolit *Zinc Chloride Acid*

Larutan Elektrolit *Zinc Chloride Acid* adalah salah satu tipe larutan elektrolit yang jamak digunakan di industri elektroplating seng. Logam seng dapat disepuh dari beberapa jenis larutan asam, baik seng sulfat ataupun larutan kompleks seng klorida. Proses asam klorida relatif baru dibandingkan dengan proses pelapisan seng alkali non sianida dan alkali sianida. Meskipun masih relatif baru, larutan asam klorida dengan cepat menjadi favorit industri pelapisan seng, sekitar 50% dari semua rendaman seng di sebagian besar negara maju menggunakan larutan ini.

Terdapat beberapa kelebihan maupun kekurangan dari jenis larutan asam seng klorida ini. Keuntungan pertama adalah

efisiensi katoda yang tinggi, dimana larutan ini menghasilkan lebih sedikit reaksi samping dan waktu pelapisan yang dibutuhkan relatif lebih cepat. Kedua, hanya memerlukan pengolahan limbah yang minimal. Sedangkan kelemahan dari larutan ini adalah sifat korosif dari bahan-bahan kimia yang digunakan untuk menyusun larutan asam seng klorida ini, yang dapat merusak lapisan seng hasil pelapisan jika setelah selesai perendaman tidak dilanjutkan dengan pembilasan yang tepat menggunakan air bersih.

Pada umumnya, bahan tambahan yang ikut ditambahkan dalam larutan pelapisan seng meliputi *Carrier Brighteners*, *Primary Brighteners*, dan *surfactants*. Pencerah primer mengurangi kekasaran permukaan lapisan seng untuk memaksimalkan daya pemantulan optic sehingga meningkatkan kecerahan (*brightness*). *Brighteners* ini cenderung tidak larut dalam larutan. *Carrier brighteners* mencegah *brighteners primer* agar tidak keluar dari larutan. Surfaktan adalah senyawa yang menurunkan tegangan permukaan cairan dan padatan, yang memungkinkan pencerah primer dan pembawa untuk mencapai permukaan substrat dengan mudah. (Sierka, 2015).

Bahan-bahan utama penyusun larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* yang digunakan dalam proses elektroplating seng di dunia industri sendiri umumnya berupa kombinasi dari senyawa seng klorida dengan senyawa kalium klorida atau kombinasi dari senyawa seng klorida dengan senyawa ammonium klorida. Di dunia industri elektroplating seng sendiri pada umumnya menggunakan larutan elektrolit tipe *Zinc Chloride Acid* dengan kombinasi antara senyawa seng klorida dengan senyawa kalium klorida dengan penambahan bahan-bahan lain seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.7 dimana komposisi tersebut salah satunya merujuk pada manual teknis 290 Bright Acid Zinc Plating Process terbitan Atotech Canada Ltd. seperti terlihat pada Tabel 2.8 dibawah.

Tabel 2.7 Komposisi Larutan Elektrolit yang Umum Digunakan di Dunia Industri Electroplating Seng

Senyawa	Konsentrasi
ZnCl ₂	55 gr/liter
KCl	175 gr/liter
H ₃ BO ₃	30 gr/liter
290 Carrier	30 ml/liter
290 Maintenance	2 ml/liter

Tabel 2.8 Manual Teknis Komposisi Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid terbitan Atotech Canada Ltd.

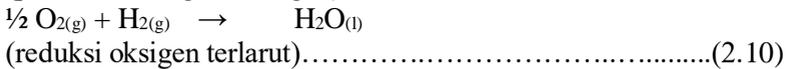
Senyawa	Konsentrasi
ZnCl ₂	39 - 86 gr/liter
KCl	155 - 325,6 gr/liter
H ₃ BO ₃	22 - 38 gr/liter
290 Carrier	30 - 50 ml/liter
290 Maintenance	0,2 - 1 ml/liter

Sesuai manual teknis 290 Bright Acid Zinc Plating Process terbitan Atotech Canada Ltd., masing-masing senyawa dan bahan di atas memiliki peran dan fungsinya sendiri-sendiri dalam menyusun larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* yang digunakan di dalam proses electroplating seng. Senyawa seng klorida (ZnCl₂) menyediakan semua ion seng dan kurang lebih $\frac{1}{3}$ dari ion klorida yang dibutuhkan untuk pembentukan larutan. Senyawa kalium klorida (KCl) menyediakan sekitar $\frac{2}{3}$ dari total ion klorida yang dibutuhkan. Senyawa ini juga berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas larutan. Hal senada juga dikatakan oleh Sierka (2015) yang menyatakan bahwa kebanyakan *metal salts* adalah konduktor yang buruk (*low ionic mobilities*), sehingga *conducting salts* ditambahkan untuk meningkatkan konduktivitas larutan. Dua *conducting salts* yang umum dipakai adalah KCl dan NH₄Cl. Kemudian, asam borat (H₃BO₃) berperan sebagai buffer dalam selaput katoda. Sedangkan 290 Carrier dan 290 Maintenance adalah zat aditif yang ditambahkan ke dalam larutan untuk

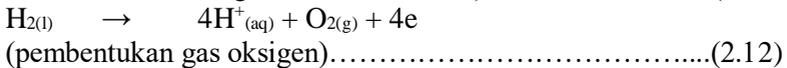
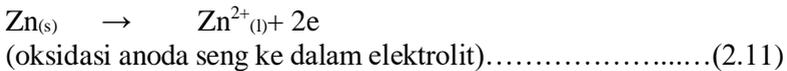
pembuatan dan perawatan bak pelapisan. 290 Carrier ditambahkan untuk memungkinkan 290 Maintenance berfungsi dimana 290 Maintenance berfungsi untuk memperhalus dan meratakan butir serta meningkatkan kecerahan lapisan.

2.4.3 Reaksi Reduksi-Oksidasi pada Anoda dan Katoda

Beberapa fenomena akan terjadi di anoda dan katoda yang berada pada bak larutan elektrolit selama berjalannya proses elektroplating seng. Ion logam seng (Zn^{2+}) dalam elektrolit yang bermuatan positif menuju benda kerja (katoda) yang bermuatan negatif sehingga ion logam Zn^{2+} akan tereduksi menjadi logam Zn dan mengendap di katoda membentuk lapisan logam (deposit), menurut reaksi pada Persamaan 2.8 hingga 2.10 sebagai berikut :



Ion seng dalam elektrolit yang telah tereduksi dan menempel di katoda, posisinya akan diganti oleh anoda seng yang teroksidasi dan larut dalam elektrolit menurut reaksi pada Persamaan 2.11 hingga 2.13 sebagai berikut:



Apabila proses elektroplating berjalan seimbang maka konsentrasi elektrolit akan tetap, anoda makin lama berkurang dan

terjadi pengendapan (deposit) logam yang melapisi katoda sebagai benda kerja (Yerikho, 2013).

2.5 Korosi

Menurut Jones (1992), korosi didefinisikan sebagai proses degradasi material secara kualitas maupun kuantitas karena peristiwa reaksi kimia dan elektrokimia dengan lingkungannya. Lingkungannya berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam dan lainnya (Roberge, 1999).

Korosi merupakan peristiwa alamiah yang terjadi pada suatu bahan dan proses kembalinya bahan ke kondisi semula saat bahan ditemukan dan diolah dari alam. Mekanisme korosi menggunakan reaksi elektrokimia yang melibatkan perpindahan elektron-elektron hasil reaksi reduksi-oksidasi (Fontana, 1987). Reaksi reduksi merupakan reaksi penangkapan elektron yang logamnya sebagai katoda, dengan reaksi yang umum terjadi sebagaimana tertera pada Persamaan 2.14 hingga 2.17 sebagai berikut (Fontana, 1987):



Sedangkan reaksi oksidasi merupakan reaksi pelepasan elektron dan berakibat terbentuknya ion-ion positif, dengan reaksi yang terjadi pada proses korosi sebagaimana tertera pada Persamaan 2.18 sebagai berikut (Fontana, 1987):



Pada proses korosi terdapat 4 komponen penting, yaitu:

1. Anoda

Anoda merupakan bahan logam yang mengalami reaksi oksidasi atau melepaskan elektron dari atom

logam netral kemudian membentuk ion yang bereaksi untuk membentuk karat.

2. Katoda

Katoda merupakan logam yang mengalami reaksi katodik atau menerima elektron dari reaksi. Pada larutan asam akan terbentuk gas H_2 , sedangkan pada larutan basa terbentuk gas O_2 . Hal ini dikarenakan reaksi pada katoda bergantung pada pH larutan

3. Elektrolit

Sebuah media larutan yang mengandung ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik sebagai media perpindahan elektron dari anoda menuju katoda. Larutan yang dapat digunakan sebagai elektrolit dapat berupa larutan asam, basa dan garam

4. Reaksi antara anoda dan katoda

Antara anoda dan katoda harus terjadi kontak langsung yang menghasilkan reaksi spontan dengan melibatkan reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi. (Trethewey et al, 1991)

2.5.1 Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Korosi

Terjadinya fenomena korosi pada suatu material dapat disebabkan karena adanya beberapa factor, diantaranya yaitu:

1. Udara

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

2. Air

Air terbagi atas air laut dan air tawar, unsur-unsur yang bersifat korosif biasanya terdapat banyak di air laut. Air laut memiliki konduktivitas yang sangat tinggi dan ion klorida yang dapat menembus permukaan logam sehingga

sangat berpengaruh terhadap laju korosi terhadap logam yang kontak langsung ataupun tidak (Kirk and Othmer, 1965). Sedangkan pada air tawar memiliki zat terlarut yang membentuk asam, misalnya belerang dioksida, karbon dioksida dan lainnya, kandungan inilah yang mempercepat laju korosi (Sulaiman, 1978).

3. Tanah

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

4. Zat-Zat Kimia

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

2.5.2 Faktor-faktor yang Memengaruhi Laju Korosi

Faktor-faktor gangguan udara seperti temperatur, kondisi cuaca dan kelembaban relatif serta bentuk dari permukaan dan kondisi permukaan yang merupakan penyebab basahnya permukaan, adalah faktor yang sangat penting dalam tingkat penyerapan korosi yang berpengaruh terhadap laju korosi itu sendiri. Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi :

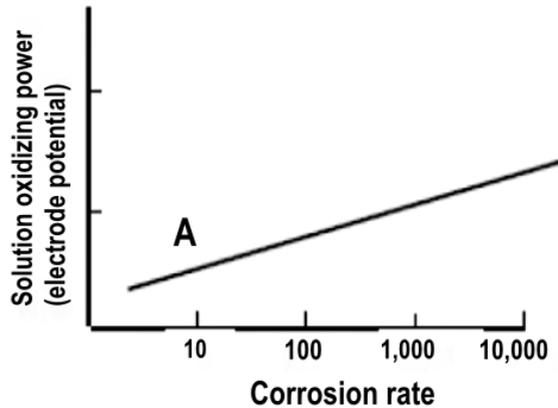
1. Polarisasi

Suatu reaksi elektrokimia dikatakan terpolarisasi apabila terjadi proses perlambatan dari laju reaksi kimia. Polarisasi bertindak sebagai pelapis tambahan, dan mempengaruhi

tingkat pH dan konsentrasi ion pada elektrolit. Kecepatan pada reaksi elektrokimia terbatas oleh bermacam-macam factor fisis dan kimia. Oleh karena itu, reaksi elektrokimia dapat dikatakan sebagai polarisasi atau penurunan yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Polarisasi aktivasi adalah polarisasi yang disebabkan oleh faktor pelambat yang berasal dari reaksi elektrokimia itu sendiri, yakni terjadinya terbentuknya gas hidrogen di katoda. Polarisasi konsentrasi menyangkut proses perlambatan reaksi elektro kimiawi sebagai akibat dari perubahan konsentrasi di dalam larutan di dekat permukaan metal. Aktivasi polarisasi biasanya dapat dikontrol pada media yang mengandung konsentrasi tinggi dan pada media pengkorosian aktif. Konsentrasi polarisasi pada umumnya didominasi ketika konsentrasi pada proses reduksi adalah kecil. Konsentrasi yang berhubungan dengan logam biasanya kecil dan bisa diabaikan. Konsentrasi yang berhubungan dengan logam biasanya kecil dan bisa diabaikan. Konsentrasi polarisasi sangat penting hanya pada reaksi reduksi.

2. Pasivasi

Pada dasarnya, pasivitas adalah lepasnya suatu unsure akibat reaksi kimia yang dialami oleh beberapa logam dan paduan pada suatu kondisi lingkungan khusus. Logam dan paduan yang mengalami pasivitas di antaranya besi, nikel, silicon, kromium, titanium, dan paduan-paduannya. Observasi juga telah dilakukan untuk mengetahui efek pasivitas pada beberapa logam, di antaranya, zinc, cadmium, tin, dan thorium.

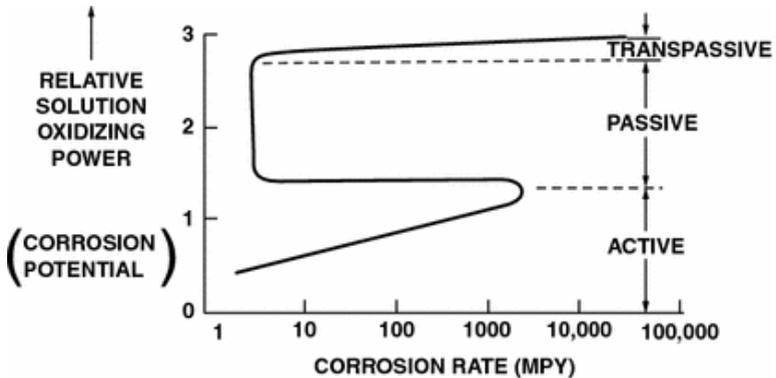


Gambar 2.3 Pengaruh Daya Oksidasi terhadap Laju Korosi (Fontana, 1987)

Pada Gambar 2.3 diilustrasikan suatu pasivitas yang dialami oleh logam, dimana laju korosi logam tersebut dipengaruhi oleh daya oksidasi dengan menggunakan potensial elektron. Gambar tersebut mengilustrasikan bahwa sebuah logam dicelupkan pada lingkungan asam yang terbebas dari kandungan udara, lingkungan tersebut ditambahkan daya oksidasi pada titik A dan laju korosinya digambarkan dengan sebuah garis pada gambar tersebut. Jika daya oksidasi pada lingkungan ini meningkat, maka laju korosi pada logam tersebut juga meningkat (Sankara, 2014).

Gambar 2.4 mengilustrasikan jenis-jenis material berdasarkan laju korosinya pada penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial. Jenis-jenis material dibagi menjadi tiga kategori yaitu aktif, pasif, dan transpatif. Untuk material pada daerah aktif biasanya daerah ini identik dengan logam pada umumnya, dimana penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial diikuti dengan penambahan laju korosi. Untuk material yang berada pada daerah pasif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada material tersebut.

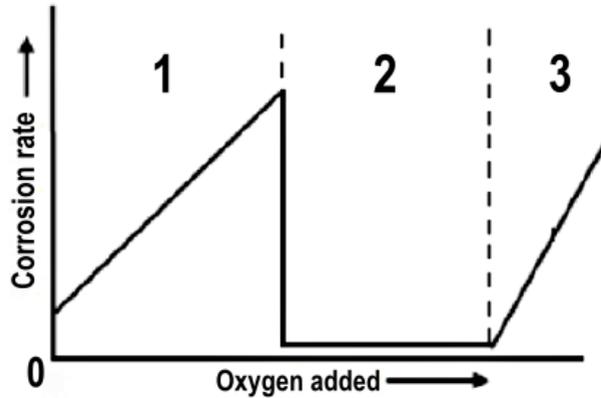
Sedangkan untuk daerah transpatif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi, namun untuk penambahan daya oksidasi yang besar, laju korosi material tersebut juga ikut bertambah (Sankara, 2014).



Gambar 2.4 Daya Oksidasi terhadap Jenis Material (Fontana, 1987)

3. Konsentrasi Oksigen

Pengaruh oksigen pada laju korosi dapat digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Bentuk grafik tersebut dibagi menjadi tiga bagian yang berbeda. Untuk daerah 1 adalah karakteristik pada logam normal dan juga pada logam aktif-pasif di mana logam tersebut berada pada daerah aktif. Untuk logam yang ditunjukkan pada transisi aktif-pasif, sifat pasif dicapai bila kuantitas oksigen tercukupi. Bertambah cepatnya laju korosi seiring dengan bertambahnya konsentrasi oksigen yang ditambahkan hal ini digambarkan pada daerah 1 dimana karakteristik daerah ini dimiliki oleh logam monel dan tembaga pada lingkungan acid solution yang mengandung oksigen (Sankara, 2014).

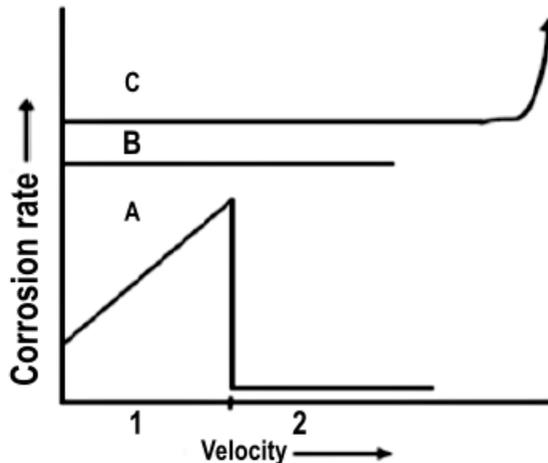


Gambar 2.5 Pengaruh Kadar Oksigen terhadap Laju Korosi
(Fontana, 1987)

4. Kecepatan Angin

Pengaruh kecepatan angin terhadap laju korosi adalah seperti pengaruh penambahan oksigen terhadap laju korosi. Gambar 2.6 menunjukkan ciri khas pengaruh kecepatan angin terhadap laju reaksi. Untuk proses korosi yang dikendalikan oleh aktifasi polarisasi maka kecepatan tidak memiliki pengaruh terhadap laju reaksi, seperti yang diilustrasikan oleh kurva B. jika proses korosi dikendalikan oleh difusi katodik. Ketika kecepatan meningkat maka laju korosi meningkat seperti yang ditunjukkan pada kurva A bagian 1. Pengaruh ini umumnya terjadi ketika adanya zat pengoksidasi dalam jumlah yang sedikit, seperti halnya oksigen yang terlarut dalam larutan asam atau air. Jika proses mengalami difusi dan logam bersifat pasif maka besarnya laju reaksi akan digambarkan oleh kurva A bagian 1 dan 2. Beberapa logam memiliki ketahanan korosi pada medium tertentu karena terbentuknya lapisan pelindung yang sangat besar. Ketika material yang terkena sinar matahari dan terdapat angin yang sangat besar maka hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada

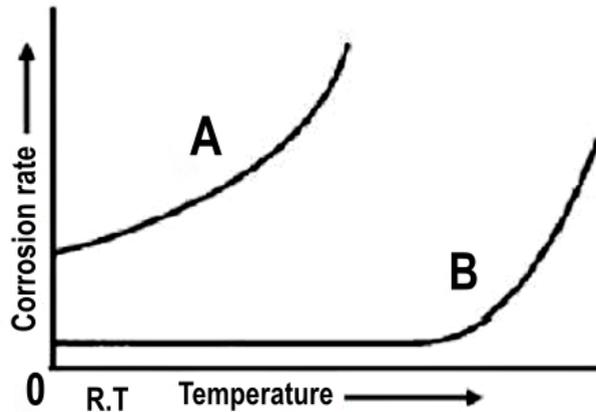
lapisan pelindung tersebut, sehingga laju korosi meningkat. Seperti yang ditunjukkan pada kurva C (Sankara, 2014).



Gambar 2.6 Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Laju Korosi (Fontana, 1987)

5. Pengaruh Temperatur

Peningkatan temperatur dapat meningkatkan laju reaksi kimia. Gambar 2.7 menggambarkan pengamatan dua keadaan umum pengaruh temperatur terhadap laju korosi logam. Kurva A menunjukkan kenaikan yang sangat cepat dalam laju korosi disebabkan oleh kenaikan temperatur. Kurva B menggambarkan bahwa laju reaksi tidak terlalu dipengaruhi oleh kenaikan temperatur, yaitu pengaruh temperatur diabaikan terhadap laju reaksi meskipun terjadi dalam temperatur yang sangat tinggi. Sebagai contoh kasus yang terjadi pada baja karbon, monel, dan nikel dalam lingkungan yang asam (Sankara, 2014).

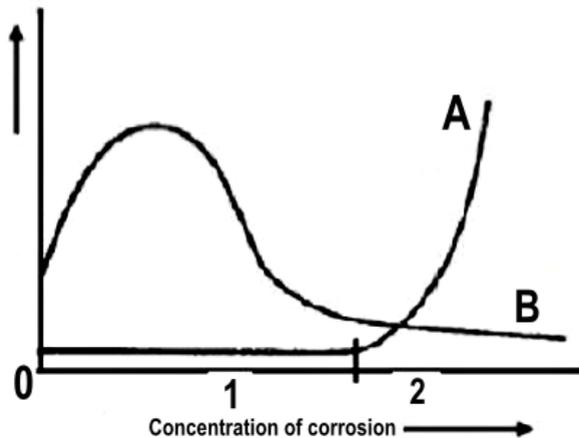


Gambar 2.7 Pengaruh Temperatur terhadap Laju Korosi
(Fontana, 1987)

6. Konsentrasi Korosif

Gambar 2.8 menunjukkan konsentrasi terhadap laju reaksi. Sebagai catatan kurva A memiliki dua bagian, yaitu 1 dan 2. Kebanyakan material menunjukkan bahwa efek konsentrasi korosif tidak terlalu berdampak pada laju korosi. Seperti yang ditunjukkan pada kurva bagian pertama. Adapun material yang lain menunjukkan perilaku yang berbeda ketika konsentrasi korosif meningkat mengakibatkan laju korosi meningkat. Timah adalah contoh yang menunjukkan pengaruh tersebut. Pada konsentrasi yang rendah timah membentuk lapisan pelindung, namun pada konsentrasi yang tinggi lapisan pelindung tersebut larut sehingga laju korosi bertambah seiring dengan penambahan konsentrasi korosif. Sifat asam yang larut dalam semua konsentrasi air, sering menghasilkan kurva yang mirip dengan kurva B. awalnya pada kurva B, kenaikan konsentrasi korosi menyebabkan laju korosi juga meningkat. Terutama karena fakta menunjukkan bahwa sejumlah ion hydrogen yang bersifat aktif akan bertambah banyak karena konsentrasi asam juga meningkat. Namun karena konsentrasi asam terus meningkat, laju korosi mencapai titik maksimum dan akhirnya akan menurun. Hal ini tidak diragukan

lagi karena fakta, bahwa konsentrasi yang sangat tinggi maka ionisasi asam akan berkurang. Karena ini, kebanyakan larutan asam seperti sulfuric, acetic, hydrofluoric, dan yang lainnya pada hakekatnya tidak dapat bereaksi pada kondisi murni atau 100% konsentrasi (Sankara, 2014).

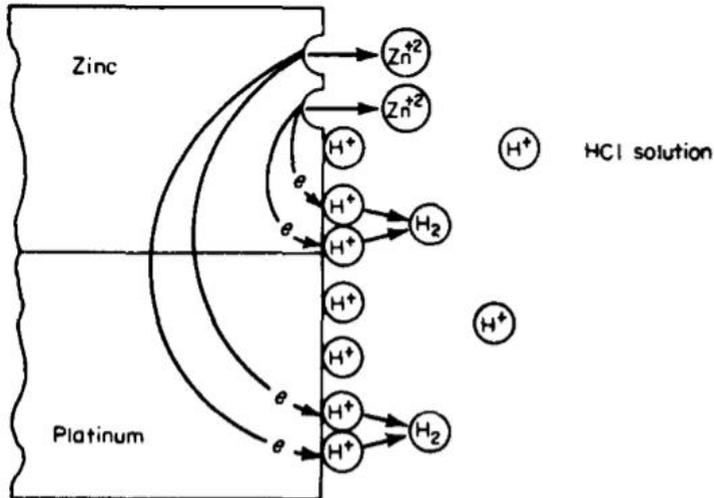


Gambar 2.8 Pengaruh Konsentrasi terhadap Laju Korosi
(Fontana, 1987)

7. Pengaruh Pasangan Galvanik

Pada pemanfaatan material secara umum, kontak antara material-material yang berbeda adalah sesuatu yang sulit untuk dihindarkan. Di dalam proses aliran fluida dan pemipaan, perbedaan material dan paduan sering terjadi kontak antara material tersebut. Sepotong seng dicelupkan ke dalam larutan asam klorida dan disambungkan dengan logam mulia seperti platinum seperti pada Gambar 2.9. Karena platinum tidak dapat bereaksi dalam medium tersebut, hal itu akan menyebabkan terjadinya evolusi ion hidrogen di permukaan platinum tersebut. Selanjutnya, evolusi hidrogen lebih mudah terjadi pada permukaan platina dibandingkan dengan seng. Akibat dari pasangan galvanik pada contoh tersebut adalah hampir identic dengan penambahan

oksidator pada larutan korosif. Dalam kasus tersebut logam akan kehilangan elektronnya dan karenanya tingkat pelarutan logam juga meningkat (Sankara, 2014).



Gambar 2.9 Sel Galvanik pada Logam Platinum dan Seng (Fontana, 1987)

2.5.3 Penilaian Kerusakan Oleh Korosi

Penilaian tingkat kerusakan suatu material akibat adanya fenomena korosi dapat dilihat melalui laju korosi material tersebut. Laju korosi merupakan banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Pada umumnya, laju korosi dinyatakan dengan satuan mils per year (mpy). Beberapa metode pengujian untuk menghitung laju korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara yakni: metode kehilangan berat (*weight loss*); analisis kimia larutan; teknik gasometri; pengukuran ketebalan; *electrical resistance probe*, dll.

Metode pengukuran laju korosi ini adalah metode yang paling sederhana dan banyak digunakan dibandingkan dengan metode lainnya. Pada metode ini digunakan sampel logam berupa

kupon. Kupon adalah lempengan dari logam yang ditempatkan dalam sistem dan dibiarkan selama beberapa waktu agar terkorosi. Kupon digunakan untuk mengetahui laju korosi melalui metode *weight loss* (Jones, 1992).

Kupon menunjukkan kerusakan korosi pada baja dalam jangka waktu tertentu dan hanya dapat digunakan pada kondisi dimana peningkatan korosi dapat diukur. Bentuk dan dimensi kupon bervariasi. Sebelum kupon diletakkan pada sistem korosif, maka kupon haruslah dibersihkan dahulu agar produk korosi yang ada sebelumnya tidak mengganggu variabel dari pengujian. Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi berdasarkan metode kehilangan berat dapat dirumuskan dengan menggunakan Persamaan 2.19 sebagai berikut:

$$CR = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

- CR = (*Corrosion Rate*) Laju Korosi
- K = Konstanta Laju Korosi
- W = *Weight loss* (Gram)
- T = Waktu paparan (Jam)
- A = Luas Permuakaan (cm²)
- D = Densitas Spesimen (g/cm³)

Menurut standar ISO 12944 bagian 2, klasifikasi laju korosi terhadap efek yang ditimbulkan terhadap material dapat dibagi ke dalam lima kategori yang dapat dilihat pada Tabel 2.9 di bawah sebagai berikut:

Tabel 2.9 Gambaran dari Lima Kelas Korosi sesuai ISO 12944

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

(P. Møller, 2013)

Ada banyak perbedaan satuan yang dapat digunakan untuk menghitung laju korosi tergantung dari satuan yang akan digunakan. Hal tersebut disesuaikan dengan pemakaian nilai konstanta yang sesuai. Nilai konstanta dapat dilihat pada Tabel 2.10 sebagai berikut

Tabel 2.10 Nilai Konstanta untuk Setiap Satuan Unit (ASTM G1-03)

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

(ASTM G1-03)

2.6 State of the Art (Penelitian Sebelumnya)

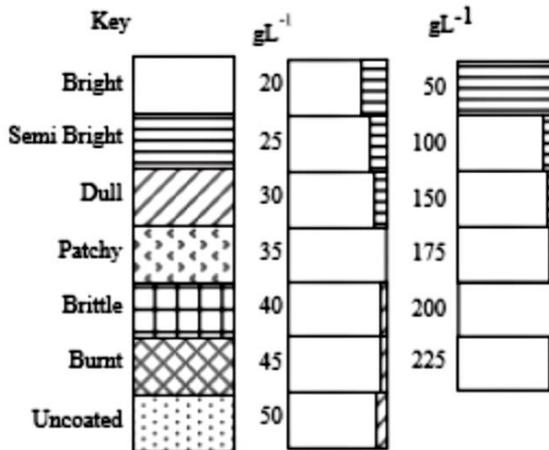
Istilah elektrolit didefinisikan sebagai media konduktif untuk proses elektrolating. Elektrolit yang paling umum adalah larutan encer dengan cairan kimia yang larut dalam air. Elektrolit terdiri dari dua komponen, yakni komponen utama yang berupa senyawa logam yang akan melapisi katoda dalam bentuk garam terlarut, serta senyawa pendukung yang berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas atau daya listrik. Sierka (2015) menyatakan bahwa kebanyakan *metal salts* adalah konduktor yang buruk (*low ionic mobilities*), sehingga *conducting salts* ditambahkan untuk meningkatkan konduktivitas larutan. Dua *conducting salts* yang umum dipakai adalah KCl dan NH_4Cl .

Pada umumnya konsentrasi ion logam yang terlalu tinggi pada larutan elektrolit akan mengakibatkan menurunnya kekilapan dan menyebabkan ketidakrataan pada permukaan lapisan *coating*. Sementara jika kadar ion logam dalam larutan elektrolit terlalu

rendah maka akan menyebabkan proses pelapisan berjalan lambat. (Irwanto, 2010).

Sebelumnya telah dilakukan berbagai penelitian mengenai efek dari variasi konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan di dalam proses electroplating terhadap kualitas dan *performance* lapisan *coating*. Beberapa diantaranya dibahas di paragraf di bawah.

Yanjerappa Arthoba Naik (2001) meneliti tentang efek dari beberapa variabel dalam elektrodeposisi seng dari larutan klorida. Salah satu variabel yang ikut diteliti adalah tentang konsentrasi seng klorida ($ZnCl_2$) dan ammonium klorida (NH_4Cl) dalam larutan elektrolit terhadap kondisi permukaan lapisan. Variabel penambahan seng klorida ($ZnCl_2$) mulai dari 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 gr/liter, didapatkan hasil lapisan yang paling cerah dan mengkilap pada konsentrasi seng klorida sebanyak 35 gr/liter. Sementara penambahan ammonium klorida (NH_4Cl) mulai dari 50, 100, 150, 175, 200, dan 225 gr/liter, didapatkan hasil lapisan yang paling cerah dan mengkilap pada konsentrasi ammonium klorida sebanyak 200 gr/liter. Lebih lanjut mengenai hasil penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.10 dibawah sebagai berikut.



Gambar 2.10 Hasil Penelitian Yanjerappa Arthoba Naik (2001) tentang Efek Variasi Konsentrasi (a) ZnCl₂ dan (b) NH₄Cl terhadap Penampilan Permukaan Spesimen Elektroplating Seng

Penelitian yang dilakukan Muhyidin A.M. (2012) membahas pengaruh penambahan konsentrasi seng sulfat (ZnSO₄) (5%; 10%; 15%; 20%) terhadap ketebalan lapisan, sifat adhesive lapisan dan ketahanan lapisan hasil elektroplating terhadap korosi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi ZnSO₄ akan menaikkan ketebalan lapisan coating dan penambahan konsentrasi juga akan menaikkan nilai kelekatan maksimum pada konsentrasi 15%, akan tetapi jika konsentrasi dinaikan semakin tinggi maka kelekatan akan turun kembali serta penambahan konsentrasi akan menurunkan laju korosi.

Kikin Hermanto (2015) meneliti tentang metode alternatif elektroplating, yaitu elektrolit gel. Elektrolit gel merupakan metode elektroplating tanpa perlu melakukan pencelupan, penelitian yang dilakukan Kikin bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi H₂CrO₄ (250 g/l; 300 g/l; 350 g/l) dan gelatin sebagai gelling agent (40,5 g/l; 81 g/l; 121,5 g/l) dalam elektrolit gel H₂CrO₄ terhadap ketebalan dan kekuatan lekat lapisan krom

hasil elektroplating pada baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi asam kromat dalam elektrolit gel akan meningkatkan ketebalan deposit krom sedangkan penambahan konsentrasi gelatin akan menurunkan ketebalan deposit krom. Penambahan konsentrasi asam kromat akan menurunkan nilai kelekatan deposit krom pada spesimen, sedangkan penambahan konsentrasi gelatin akan mencapai nilai kelekatan maksimalnya pada konsentrasi 81 g/l dan penambahan konsentrasi gelatin melebihi konsentrasi tersebut akan menyebabkan penurunan nilai kelekatan.

Penelitian yang dilakukan Reny Afriany (2012) membahas tentang pengaruh waktu pelapisan nikel pada aluminium dalam dua jenis larutan elektrolit yang berbeda pada proses electroplating. Aluminium dilapisi nikel dengan proses electroplating pada temperatur 30°C, kuat arus 0.4 A dengan variasi waktu pelapisan 10, 15 dan 20 menit dalam Larutan I (200 g/L nikel sulfat, 175 g/L nikel khloride, 40 g/L boric acid) dan Larutan II (330 g/L nikel sulfat, 45 g/L nikel khloride, 38 g/L boric acid). Pelapisan nikel pada aluminium telah menyebabkan kenaikan kekerasan yang sangat signifikan, yakni pada Larutan I kenaikan tertinggi mencapai 730% (33 ke 241 VHN 0.01) dan pada Larutan II mencapai 766% (33 ke 253 VHN 0.01). Nilai kekerasan lapisan nikel pada Larutan II lebih besar dibanding Larutan I. Nilai kekerasan tertinggi pada Larutan I dan Larutan II ini diperoleh pada waktu pelapisan selama 15 menit. Pada waktu pelapisan 10 dan 15 menit terjadi peningkatan kekerasan permukaan, namun terjadi penurunan kekerasan permukaan untuk waktu pelapisan 20 menit.

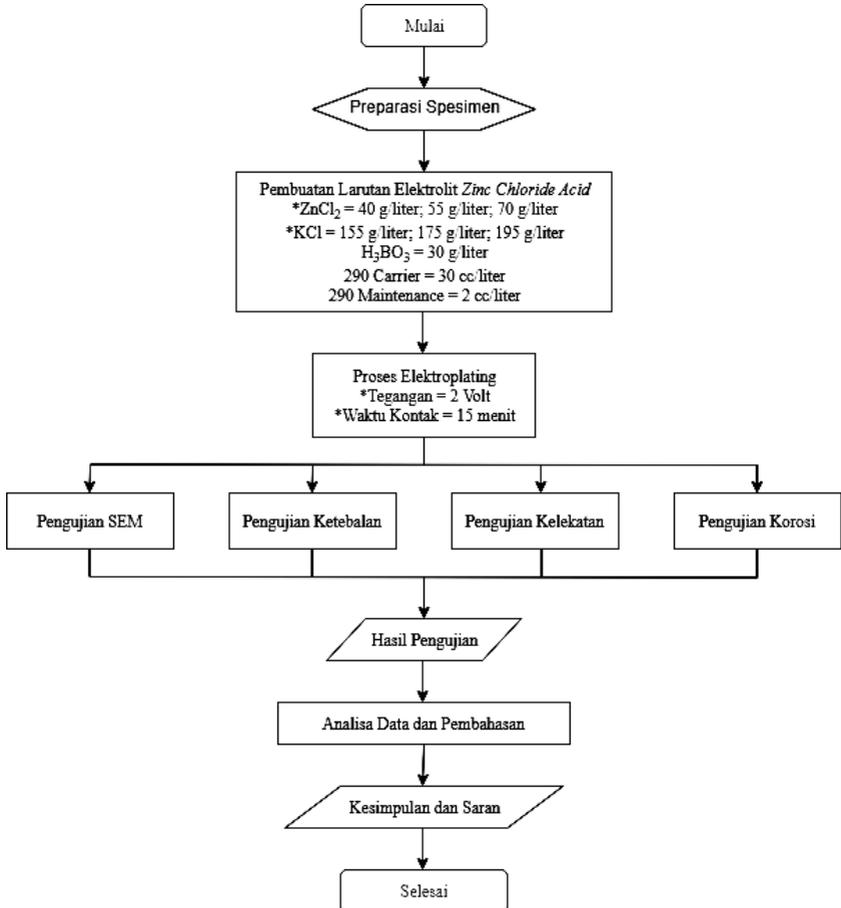
Sugiyarta (2012) meneliti pengaruh konsentrasi larutan dan arus listrik terhadap ketebalan lapisan nikel. Pada penelitiannya variabel bebasnya adalah arus listrik dan konsentrasi larutan. Arus listrik divariasikan 50, 55, dan 60 A. Konsentrasi larutan divariasikan menjadi 3 yaitu konsentrasi 1 (NiSO₄ 300 gr, NiCl₂ 40 gr, H₃BO₃ 40gr, H₂O 1000 ml), konsentrasi 2 (NiSO₄ 325 gr, NiCl₂ 45 gr, H₃BO₃ 40gr, H₂O 1000 ml) dan konsentrasi 3

(NiSO_4 350 gr, NiCl_2 50 gr, H_3BO_3 40 gr, H_2O 1000 ml). Hasil penelitian ini menunjukkan pada konsentrasi 1, besar arus listrik tidak berpengaruh terhadap ketebalan nikel. Pada konsentrasi 2 dan 3, semakin besar arus listrik akan diperoleh hasil lapisan yang makin tebal. Semakin tinggi konsentrasi NiSO_4 dan NiCl_2 maka lapisan nikel akan semakin tebal. Ketebalan minimum diperoleh pada konsentrasi 1 pada arus 55 A yaitu $5,06 \mu\text{m}$ dan hasil pengukuran tertinggi pada konsentrasi 3 dengan arus 60 A ketebalan $23,26 \mu\text{m}$.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Peralatan Penelitian

Berikut ini adalah peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian:

1. *Rectifier*
2. Jepit Buaya
3. Gelas beker
4. Alat uji kelekatan (PosiTest AT-M)
5. Alat uji ketebalan (DFT)
6. Alat uji SEM
7. Neraca Analitik (Mettler Toledo)
8. *Stopwatch*

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang diperlukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Spesimen : Baja AISI 1020 sebagai katoda
2. Anoda : Seng
3. Seng Klorida ($ZnCl_2$)
4. Kalium Klorida (KCl)
5. Asam Borat (H_3BO_3)
6. Additif Zylite 290 Carrier
7. Additif Zylite 290 Maintenance
8. Aquades
9. Asam Klorida (HCl)

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Spesimen Uji

Preparasi spesimen bertujuan untuk membersihkan spesimen dari kotoran, karat/oksida, dan minyak yang melekat pada permukaan sehingga proses elektroplating pada spesimen dapat berlangsung dengan baik dan deposit lapisan hasil elektroplating dapat menempel dengan baik. Preparasi awal pada sampel akan mempengaruhi kualitas hasil dari elektroplating pada spesimen. Semakin baik preparasi awal sampel maka kualitas

elektroplating yang melekat permukaan sampel akan semakin baik pula, begitu juga sebaliknya.

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

1. Memotong spesimen baja AISI 1020 dengan dimensi panjang 4,5 cm, lebar 4 cm dan tebal 0,4 cm.
2. Meratakan permukaan spesimen baja AISI 1020 menggunakan gerinda agar spesimen memiliki tingkat kerataan yang sama disetiap titik permukaannya.
3. Spesimen selanjutnya diampelas dengan menggunakan kertas amplas untuk menghilangkan sisa kerak sekaligus untuk menghaluskan permukaan.
4. Pembersihan dari hasil proses amplas dilakukan dengan menggunakan kain sampai spesimen benar-benar bersih dari pengotor hasil amplas.
5. Spesimen kemudian dibilas dan dibasuh dengan kain dalam larutan *degreasing* kemudian dibilas dengan air bersih untuk membersihkan permukaan spesimen dari minyak, oli atau pengotor lainnya agar permukaan spesimen tidak lengket.
6. Selanjutnya membersihkan spesimen dari karat dan pengotor lainnya yang masih menempel pada permukaan dengan merendam spesimen uji selama 10-15 menit didalam larutan HCl 30-33% dan setelah direndam langsung, spesimen uji dibersihkan dengan aquades sampai benar-benar bersih.
7. Jika dirasa masih cukup berminyak dan lengket akibat oli minyak yang masih tersisa, spesimen dapat dibilas dan dibasuh lagi dengan kain dalam larutan *degreasing* lalu kemudian dibilas dengan air bersih
8. Spesimen uji yang sudah bersih kemudian dikeringkan.
9. Spesimen ditimbang beratnya menggunakan neraca analitik.

3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kombinasi konsentrasi $ZnCl_2$ dan KCl dalam larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* terhadap ketebalan, kekuatan lekat, dan ketahanan korosi lapisan seng yang dihasilkan pada baja AISI 1020 hasil electroplating seng. Dalam pembuatan larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid*, yang merujuk pada manual teknis 290 Bright Acid Zinc Plating Process terbitan Atotech Canada Ltd., diberikan variabel berupa variasi konsentrasi $ZnCl_2$ dan KCl dengan komposisi sebagaimana terlihat pada Tabel 3.1 dibawah ini

Tabel 3.1 Komposisi Konsentrasi Larutan Elektrolit Zinc Chloride Acid

No	$ZnCl_2$ (g/liter)	KCl (g/liter)	H_3BO_3 (g/liter)	290 Carrier (ml/liter)	290 Maintenance (ml/liter)	Volume Aquades (ml)
1	40	155	30	30	2	1000
2	55	155	30	30	2	1000
3	70	155	30	30	2	1000
4	40	175	30	30	2	1000
5	55	175	30	30	2	1000
6	70	175	30	30	2	1000
7	40	195	30	30	2	1000
8	55	195	30	30	2	1000
9	70	195	30	30	2	1000

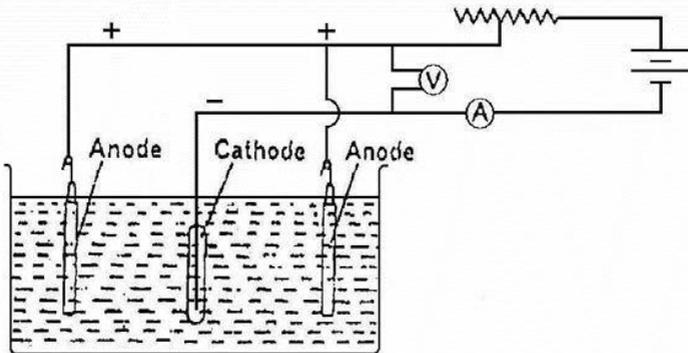
Sedangkan untuk tahap-tahap pembuatan larutan elektrolit ini sendiri mengacu pada manual teknis 290 Bright Acid Zinc Plating Process yang dikeluarkan oleh Atotech Canada Ltd. sebagai berikut:

1. Menuangkan aquades yang telah dipanaskan hingga temperaturnya mencapai sekitar 50 hingga 60° C sebanyak 500 ml ke dalam gelas ukur.
2. Memasukkan asam borat (H_3BO_3) sebanyak 30 gram dan mengaduknya hingga larut.

3. Menambahkan seng klorida ($ZnCl_2$) sebanyak 40 gram secara perlahan kemudian mengaduknya hingga larut.
4. Menambahkan kalium klorida (KCl) sebanyak 155 gram secara perlahan kemudian mengaduknya hingga larut.
5. Menambahkan 290 *carrier* sebanyak 30 ml sambil larutan terus diaduk.
6. Menambahkan 290 *maintenance* sebanyak 2 ml sambil larutan terus diaduk.
7. Menambahkan aquades ke dalam gelas ukur hingga volume larutan mencapai 1000 ml sambil terus diaduk
8. Mengulangi langkah 1-7 untuk membuat larutan dengan variasi $ZnCl_2$ dan KCL yang lain sesuai Tabel 3.1

3.3.3 Susunan Rangkaian Elektroplating

Rangkaian elektroplating tersusun atas 4 komponen yang penting dan harus ada pada setiap proses elektroplating. Bagian pertama adalah rektifier yang berfungsi sebagai sumber arus listrik yang akan dialirkan kedalam rangkaian. Bagian kedua adalah anoda yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi. Anoda pada penelitian ini menggunakan logam seng yang akan dijadikan sebagai sumber dari logam yang akan dijadikan sebagai pelapis pada proses elektroplating. Bagian ketiga adalah katoda yang berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi, katoda pada penelitian ini menggunakan baja AISI 1020 sebagai spesimen uji yang akan dilapisi. Bagian keempat adalah larutan elektrolit sebagai penyalur aliran listrik pada sirkuit aliran pada rangkaian elektroplating. Elektrolit yang digunakan adalah *Zinc Chloride Acid* dengan komposisi sebagaimana tertera di Tabel 3.1. Skema rangkaian elektroplating dapat dilihat pada skema Gambar 3.2 dibawah.



Gambar 3.2 Skema Susunan Rangkaian Proses Elektroplating (Canning, 1978)

3.4 Proses Elektroplating

Proses elektroplating pada katoda baja dengan anoda seng ini menggunakan tegangan dan waktu kontak efektif sebagai variabel tetap, yaitu :

1. Tegangan : 2 Volt
2. Waktu kontak : 15 Menit

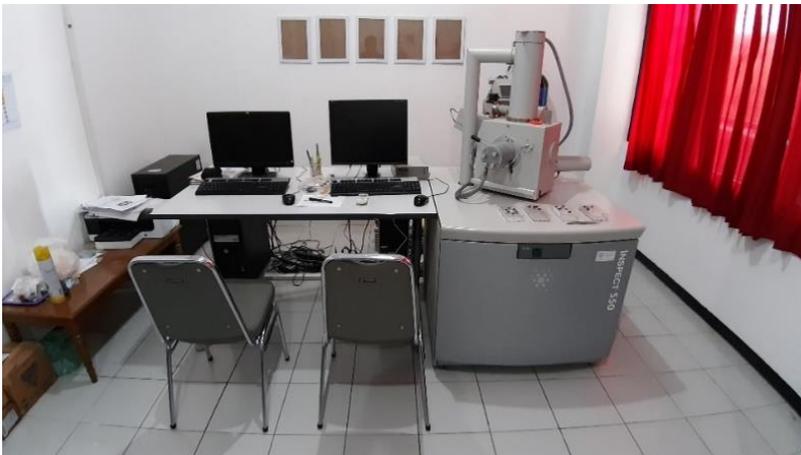
Pada penelitian ini yang dijadikan variabel berubah yaitu variasi konsentrasi $ZnCl_2$ dan KCl dalam larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid*. Proses elektroplating dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menyiapkan semua peralatan dan bahan yang dibutuhkan.
2. Merangkai anoda didua sisi dengan jarak yang telah ditentukan pada tempat yang akan digunakan sebagai wadah pada proses electroplating.
3. Menuangkan larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* ke dalam wadah electroplating.
4. Meletakkan spesimen uji tepat ditengah-tengan antar anoda.
5. Menyambungkan kabel positif (bewarna merah) ke anoda dan kabel negatif (warna hitam) ke katoda.

6. Menyalakan alat elektroplating (*rectifier*) dan mengatur tombol voltase sampai dicapai tegangan 2 Volt.
7. Membiarkan proses elektroplating berjalan selama 15 menit.
8. Setelah proses plating selesai spesimen dibilas dengan air bersih.
9. Spesimen kemudian dikeringkan di udara terbuka.

3.5 Pengujian SEM-EDX

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap adanya deposit lapisan seng pada permukaan spesimen menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) dan EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember menggunakan alat uji SEM dengan merek dagang FEI Inspect S50, alat uji tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.3 dibawah ini.

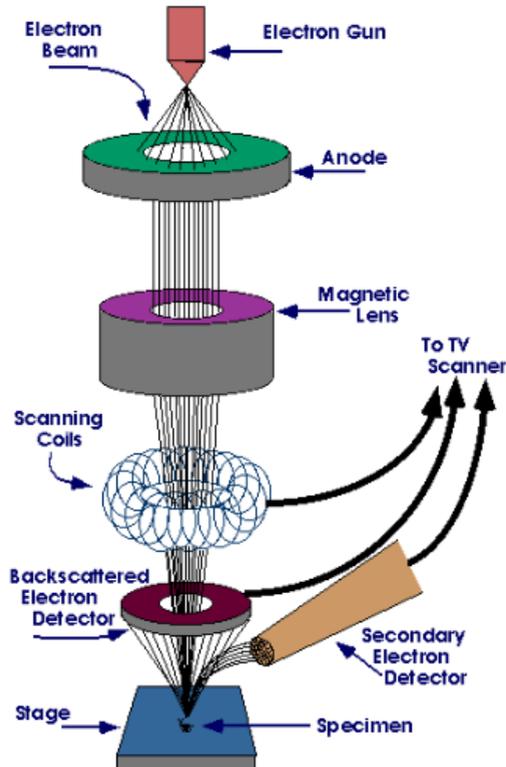


Gambar 3.3 Alat Uji SEM dengan Merek Dagang FEI Inspect S50 (dok. pribadi)

Pengujian deposit lapisan pada spesimen elektroplating ini dilakukan untuk mengetahui bahwa spesimen yang telah dielektroplating benar-benar memiliki deposit lapisan seng dan mengetahui karakterisasi permukaannya. Uji ini dilakukan dengan pemotongan pada spesimen agar memiliki dimensi seperti standar uji yakni maksimal 1 cm x 1 cm, kemudian spesimen harus dibersihkan dari pengotor-pengotor yang masih menempel pada permukaannya agar didapatkan hasil uji yang baik. Pembersihan permukaan spesimen yang kurang baik akan memperbesar kemungkinan kesalahan pengamatan dari sampel uji. Setelah spesimen bersih dari pengotor yang ada di permukaannya, spesimen dapat langsung diuji dengan menggunakan SEM-EDX.

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop yang memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relatif masing-masing) menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-Ray analysis*).

Prinsip kerja SEM ini ditunjukkan pada Gambar 3.4 dibawah dimana berkas elektron yang dihasilkan oleh electron gun menyapu permukaan sampel. Pada saat elektron berinteraksi dengan sampel, maka akan dihasilkan *secondary electron* (SE), elektron ini masuk ke dalam detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang menghasilkan gambar pada layar monitor. Sinyal terbitan detektor ini berpengaruh terhadap intensitas cahaya di dalam tabung monitor, karena jumlah cahaya yang dipancarkan oleh monitor sebanding dengan jumlah elektron yang berinteraksi dengan sampel. Hasil yang ditampilkan dengan *secondary electron* ini adalah topografi permukaan sampel. Sedangkan untuk mengamati fasa-fasa, dilakukan dengan *backscattered electron* (BSE) dengan hasil gambar yang memiliki gradasi warna, Bahan dengan nomor atom yang besar, akan tampak lebih terang dibanding bahan dengan nomor atom yang lebih kecil.



Gambar 3.4 Mekanisme Kerja Alat SEM (Seyforth, 2015)

Pengujian EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), bertujuan untuk mengetahui apa saja jenis unsur penyusun material yang ada dalam sampel, dan sekaligus untuk mengetahui nilai % berat dan % atomik dari semua unsur penyusun tersebut. EDS digunakan untuk mengetahui kandungan jumlah atom chromium yang terdeposit pada substrat dalam pengujian ini. Pengujian EDS dilakukan dengan menggunakan alat SEM, yang dilengkapi dengan software INCA.

3.6 Pengujian Ketebalan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian ketebalan deposit lapisan seng yang terbentuk setelah proses elektroplating. Pengujian ketebalan deposit lapisan coating dilakukan dengan menggunakan alat uji ketebalan Dry Film Thickness (DFT) Elcometer seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.5 dibawah sebagai berikut:



Gambar 3.5 Alat Uji Ketebalan Dry Film Thickness (DFT)
Elcometer (Elcometer, 2016)

Pengukuran nilai ketebalan dilakukan pada tiga titik yaitu pada setiap titik ujung-ujung spesimen dan titik tengah dari spesimen. Pengukuran pada tiga titik dilakukan agar didapatkan sebaran nilai ketebalan di seluruh permukaan spesimen uji. Pengukuran ketebalan dilakukan dengan menempelkan secara langsung *probe* dari alat uji ketebalan DFT Elcometer secara tegak

lurus pada bidang permukaan spesimen hasil coating selama beberapa saat sampai terdengar suara penanda pengukuran nilai ketebalan lapisan telah selesai dilakukan oleh alat. Setelah terdengar bunyi penanda pengukuran selesai, barulah nilai ketebalan lapisan coating terbaca di layar alat DFT Elcometer. Kesalahan pembacaan dapat terjadi jika posisi probe tidak tegak lurus bidang datar dan ujung probe tidak menempel dengan benar pada permukaan spesimen. Kesalahan peletakan probe pada permukaan spesimen dapat mengakibatkan pembacaan ketebalan lebih besar dari yang seharusnya atau bisa lebih kecil dari ketebalan sebenarnya. Pembacaan nilai ketebalan spesimen selesai ditandai dengan nilai ketebalan yang terlihat di layar DFT sudah stabil atau tidak adanya perubahan nilai. Kemudian nilai ketebalan tersebut dicatat dan dihitung nilai rata-rata ketebalan dari masing-masing spesimen uji. Gambar 3.6 di bawah menunjukkan contoh cara penggunaan alat DFT pada pengujian ketebalan lapisan coating pada spesimen uji.



Gambar 3.6 Pengujian Ketebalan Lapisan Coating Seng (Zn) Menggunakan Alat DFT Elcometer (dok. Pribadi)

Nilai hasil pelapisan elektroplating seng dapat memiliki ketebalan lapisan yang berbeda-beda sesuai proses dan variabel

yang berjalan. Standar minimum ketebalan deposit hasil pelapisan seng secara elektroplating menurut ASTM B633 – 13 ditunjukkan pada Tabel 3.2 dibawah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Tingkat Ketebalan Minimum Hasil Elektroplating Seng (ASTM B633 – 13)

Ketebalan Minimum (μm)	Klasifikasi
25	SC 4 (<i>very severe</i>)
12	SC 3 (<i>severe</i>)
8	SC 2 (<i>moderate</i>)
5	SC 1 (<i>mild</i>)

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa tingkat ketebalan dari hasil lapisan seng dibagi menjadi empat. Tingkatan pertama diberi kode SC 4 (*very severe*) dimana ketebalan minimumnya yaitu 25 μm . pada tingkatan ini hasil lapisan seng dapat bertahan pada kondisi yang paling buruk seperti tusukan, sayatan dan kondisi abarsif lainnya. Selain itu pada tingkatan ini lapisan yang dihasil juga tahan terhadap cairan, pembersihan, dan juga larutan garam. Untuk ketebalan ini biasanya digunakan untuk pelapisan tiang dan juga pipa. Tingkatan yang kedua yaitu SC 3 (*severe*) dengan minimum ketebalan 12 μm . pada ketebalan ini lapisan dapat bertahan pada kondisi yang buruk seperti pengembunan, basah karena hujan, dan cairan pembersih. Lapisan dengan ketebalan ini aman untuk digunakan pada perangkat keras bangunan, perangkat keras militer, bagian-bagian pada mesin cuci dan juga beberapa komponen sepeda. Tingkatan yang ketiga yaitu dengan ketebalan minimum 8 μm dan diberi kode SC 2 (*moderate*). Lapisan dengan tingkatan ini tahan pada kondisi kering pada ruangan *indoor* yang terkadang mengalami pengembunan, dan juga abrasi. Contoh penggunaannya seperti resleting, rak tarik, dan juga beberapa bagian pada mesin. Tingkatan yang terakhir yaitu SC 1 (*mild*) dengan ketebalan 5 μm . lapisan ini mampu bertahan pada kondisi ruangan *indoor* kering yang jarang terkena basah ataupun abrasi. Biasanya

digunakan untuk melapisi kancing, kawat, dan komponen pengunci seperti mur dan baut (ASTM B633 – 13).

3.7 Pengujian Kelekatan

Salah satu cara untuk menguji kualitas lapisan coating hasil elektroplating adalah dengan menguji kelekatan lapisan coating terhadap benda kerja yang dilapisinya. Pengujian nilai kelekatan lapisan coating ini dapat dilakukan dengan melakukan *pull-off test* sesuai ASTM D4541 dan menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester, dengan spesifikasi resolusi 1 psi (0.01 Mpa), akurasi + 1% skala penuh, seperti terlihat pada Gambar 3.7 dibawah sebagai berikut:



Gambar 3.7 Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester (DeFelsko Corporation, 2011)

Sebelum melakukan uji kelekatan, spesimen hasil elektroplating perlu dipersiapkan terlebih dahulu sesuai standar spesimen uji pull-off yang ada. Pertama-tama spesimen perlu dibersihkan permukaannya menggunakan *thinner* terlebih dahulu untuk memastikan bahwa permukaan spesimen yang akan diuji benar-benar minim pengotor. Kemudian setelah itu spesimen hasil

elektroplating dapat ditempelkan kepada semacam alat penarik yang berbentuk seperti pion catur yang bernama DeFelsko dolly. DeFelsko dolly yang digunakan pada pengujian ini memiliki diameter 20 mm, sehingga luas areal spesimen yang akan diuji harus lebih dari 20 mm. Penempelan spesimen uji ini dilakukan dengan mengelem spesimen uji kepada dolly menggunakan lem epoxy. Sisa-sisa lem yang meluber keluar dari area penempelan dolly pada spesimen uji kemudian dibersihkan dengan menggunakan alat cutting tool yang berbentuk bulat agar hasil kekuatan lekat yang didapatkan lebih akurat. Agar hasil dari daya lekat lebih maksimal, maka pengeringan lem pada pin dolly, setelah dilakukan pengeleman, disarankan selama satu hari hingga benar-benar mengering sebelum dilakukan pengujian daya lekat. Gambar 3.8 dibawah menunjukkan contoh penempelan dolly pada permukaan spesimen yang akan diuji.



Gambar 3.8 Penempelan Dolly pada Spesimen Uji (dok. Pribadi)

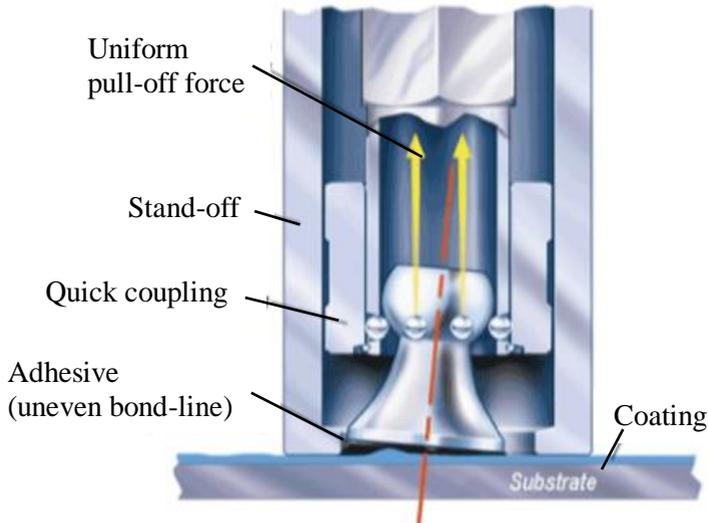
Kemudian pin dolly yang menempel pada spesimen tersebut setelah benar-benar mengering dapat dilakukan proses pencabutan. Proses pencabutan *dolly* dengan memasang sebuah alat tuas penarik yang terhubung dengan alat pembaca tekanan. Secara perlahan dan hati-hati, tuas ditekan oleh operator hingga dolly tercabut dari spesimen uji dan hasil kekuatan lekat terpampang pada layar indikator yang terdapat pada alat pembaca

tekanan. Contoh cara penggunaan alat uji kelekatan PosiTest ATM Adhesion Tester dapat terlihat pada Gambar 3.9 dibawah:



Gambar 3.9 Contoh Cara Pengujian Daya Lekat Lapisan *Coating* dengan *Pull-Off Test* Menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester (dok. Pribadi)

Sementara itu, skema lebih detail mengenai posisi dolly dan proses uji kelekatan pada spesimen uji menggunakan *pull-off test* menggunakan alat DeFelsko PosiTest AT-M Adhesion Tester dapat dilihat pada Gambar 3.10 dibawah sebagai berikut:



Gambar 3.10 Skema Uji Kelekatan Spesimen (DeFelsko Corporation, 2011)

3.8 Pengujian Laju Korosi

Salah satu tujuan pelapisan (*coating*) pada baja karbon rendah adalah untuk memproteksi material dari serangan korosi sekaligus memperpanjang usia pakai baja tersebut, karena itu perlu dilakukan pengujian laju korosi ini untuk mengetahui sejauh mana baja terlindungi oleh lapisan seng hasil elektroplating. Pengujian laju korosi ini dilakukan di Laboratorium Pengendalian Korosi dan Kegagalan Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan metode pengujian weight loss menggunakan metode pencelupan pada media korosif berdasarkan standar ASTM G31-72 '*Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*'. Rangkaian peralatan uji laju korosi dengan metode pencelupan seperti terlihat pada Gambar 3.11 dibawah ini



Gambar 3.11 Rangkaian Peralatan Uji Laju Korosi dengan Metode Pencelupan (dok. pribadi)

Metode *immersion corrosion testing of metals* ini untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja karbon rendah yang telah dilapisi dengan logam seng (Zn) dengan metode electroplating. Pengujian laju korosi dilakukan pada media larutan NaCl 3,5%. Ketebalan yang digunakan sesuai dengan ketebalan hasil dari elektroplating berdasarkan perbedaan konsentrasi dari larutan elektrolit yang digunakan. Material coating yang digunakan pada pengujian laju korosi ini adalah baja AISI 1020 yang telah dilapisi dengan menggunakan logam seng. Lama dari pengujian laju korosi yang dilakukan adalah selama 96 jam dengan menggunakan larutan korosif NaCl 3,5% dengan menggunakan metode *immersion corrosion testing of metals*. Sebelum dilakukan pengujian, dilakukan pengukuran berat pada seluruh sampel untuk mengetahui berat awal, lalu dilakukan pengukuran berat akhir setiap sampel setelah dilakukan pencelupan selama 96 jam. Setelah selesai pengujian *immersion corrosion testing of metals* maka dilakukan penimbangan agar diketahui perubahan berat per satuan waktu dan dilakukan perhitungan laju korosi yang terjadi.

3.9 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang akan dilakukan pada penelitian pengaruh variasi konsentrasi larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* terhadap ketebalan, kekuatan lekat, dan ketahanan korosi baja AISI 1020 dengan metode elektroplating dapat dilihat pada Tabel 3.3 dibawah sebagai berikut:

Tabel 3.3 Rancangan Penelitian

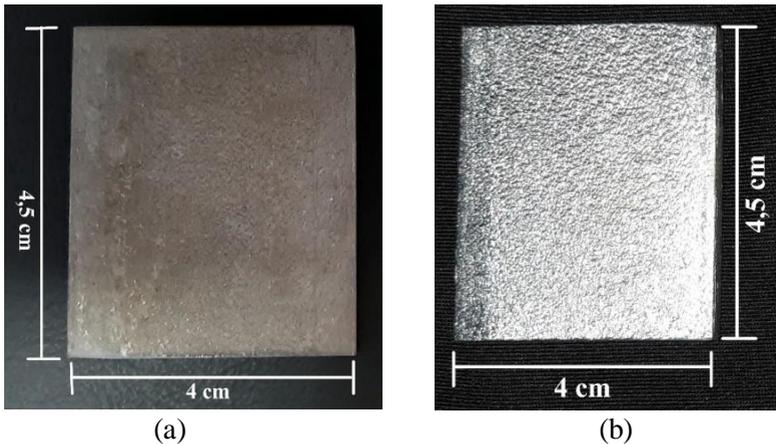
No	ZnCl ₂ (g/liter)	KCl (g/liter)	Pengujian			
			SEM - EDX	Ketebalan	Kelekatan	Laju korosi
1	40	155	-	√	√	√
2	55	155	-	√	√	√
3	70	155	-	√	√	√
4	40	175	-	√	√	√
5	55	175	√	√	√	√
6	70	175	-	√	√	√
7	40	195	-	√	√	√
8	55	195	-	√	√	√
9	70	195	-	√	√	√

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Pengamatan Permukaan Lapisan Coating

4.1.1 Pengamatan Permukaan Secara Makro

Pengamatan makro dilakukan secara visual pada permukaan spesimen uji hasil elektroplating untuk mengamati perubahan yang terjadi terhadap spesimen uji sebelum dan sesudah proses elektroplating. Pengamatan ini mengambil sampel spesimen penelitian pada variabel kombinasi konsentrasi ZnCl_2 sebesar 55 gr/liter dan KCl sebesar 175 gr/liter. Perbedaan penampakan visual spesimen uji sebelum dan sesudah dilakukan proses elektroplating dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah sebagai berikut:



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

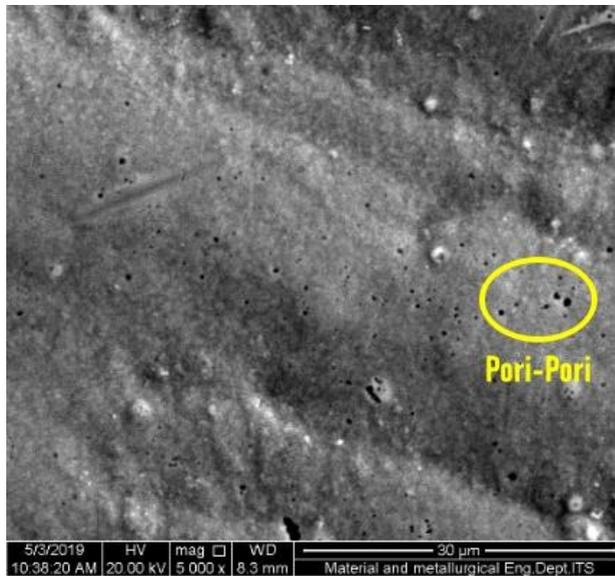
Berdasarkan Gambar 4.1 di atas dapat terlihat bahwa terdapat perbedaan antara spesimen uji yang belum dan yang sudah mengalami proses elektroplating. Perbedaan pada penampakan permukaan spesimen uji yang terlihat salah satunya dari perbedaan warnanya yakni spesimen yang berada di sebelah kiri yang nampak

berwarna abu-abu gelap kusam sebagai warna dasar dari spesimen baja karbon rendah adalah spesimen uji yang sudah melewati proses *pre-treatment* berupa *degreasing* dan *pickling* namun belum mengalami proses elektroplating, dan spesimen yang berada di sebelah kanan yang nampak berwarna abu-abu perak mengkilap dan berkilau adalah spesimen uji yang sudah terlapisi oleh lapisan *coating* setelah mengalami proses elektroplating.

Dari Gambar 4.1 tersebut juga dapat terlihat bahwa permukaan spesimen uji telah seluruhnya terlapisi dengan logam seng dengan ditandai tidak terlihat adanya permukaan logam yang berwarna berbeda atau belum terlapisi. Hal ini menandakan proses elektroplating yang terjadi sudah menutupi semua permukaan logam uji sehingga yang terlihat hanya lapisan logam seng hasil dari elektroplating.

4.1.2 Pengamatan Permukaan Secara Mikro

Pengamatan secara mikro pada spesimen uji hasil elektroplating bertujuan mengetahui apakah lapisan deposit hasil dari proses elektroplating sudah melapisi seluruh permukaan spesimen uji atau belum. Pengamatan secara mikro ini mengambil sampel spesimen penelitian pada variabel kombinasi konsentrasi $ZnCl_2$ sebesar 55 gr/liter dan KCl sebesar 175 gr/liter. Pengamatan secara mikro dilakukan pada permukaan (*surface*) dan pada penampang melintang (*cross section*) dari spesimen uji. Pengamatan secara mikro menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). Gambar hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah sebagai berikut.



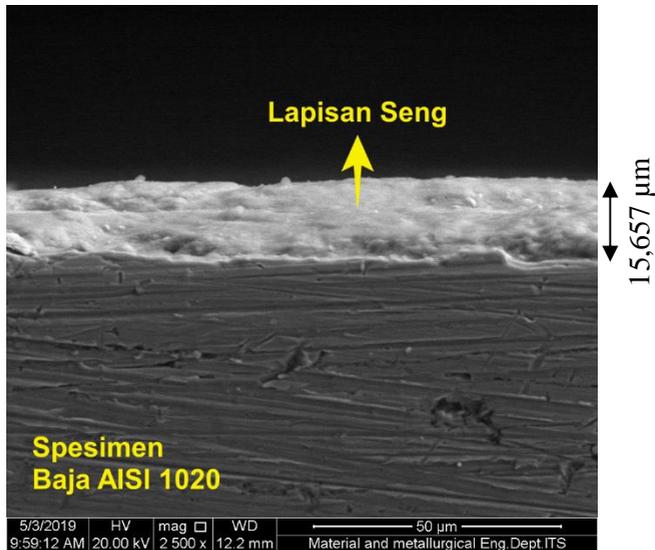
Gambar 4.2 Pengamatan Tampak Permukaan Lapisan Coating Secara Mikro dengan Pembesaran 5000x

Pada Gambar 4.2 di atas dapat dilihat bahwa seluruh permukaan spesimen uji sudah terlapisi oleh logam seng (Zn) serta distribusi lapisan tersebut terlihat cukup merata di seluruh permukaan spesimen uji yang dilapisi. Akan tetapi pada gambar tersebut pada lapisan seng yang terbentuk nampak pula ada sedikit bagian pori-pori yang nampak seperti lubang-lubang terbuka yang berbentuk lingkaran-lingkaran yang sangat kecil. Lubang-lubang terbuka yang terdapat pada permukaan spesimen tersebut disebabkan ketika proses elektroplating berlangsung, pada katoda terjadi reaksi yang menghasilkan gas hidrogen (H_2) berupa gelembung udara dan menempel pada permukaan spesimen uji seperti dijelaskan pada persamaan reaksi 2.9. Semakin banyak reaksi yang terjadi di katoda dan anoda maka akan terbentuk gelembung gas hidrogen yang banyak pula. Akibat terbentuknya gelembung gas hidrogen dan menempel pada permukaan spesimen

uji maka elektron yang mengalir ke katoda (spesimen uji) tidak akan melewati daerah tersebut karena tertutup dengan gelembung hidrogen.

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

Selain mengamati spesimen uji dari penampakan permukaannya yang telah dilapisi oleh logam seng (Zn), dilihat pula penampakan penampang melintang (*cross section*) dari spesimen uji untuk memastikan adanya lapisan deposit yang menempel pada spesimen serta dilihat pula ketebalan dari lapisan deposit yang menempel pada permukaan spesimen uji. Hasil *cross section* ini sendiri dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah.



Gambar 4.3 Pengamatan Penampang Melintang (cross section) Ketebalan Lapisan Deposit

Dari Gambar 4.3 di atas dapat dilihat bahwa lapisan deposit dari logam seng (Zn) terbentuk diatas permukaan spesimen uji dengan warna lebih terang dibandingkan warna dari spesimen uji. Hal ini mengindikasikan bahwa ketika proses elektroplating berlangsung, kation seng (Zn^{2+}) dari elektrolit berpindah dan menempel pada permukaan spesimen uji sehingga permukaan spesimen uji tertutupi oleh logam seng (Zn). Dari gambar dapat dilihat bahwa nilai ketebalan diperoleh dari tiga titik. Titik pertama sebesar 15,15 μm , titik kedua sebesar 15,15 μm dan titik ketiga sebesar 16,67 μm . Jika diambil nilai rata-rata dari data tersebut maka didapatkan nilai rata-rata ketebalan pada spesimen uji adalah $\pm 15,657 \mu\text{m}$. Jika dibandingkan dengan nilai ketebalan hasil pengukuran dengan menggunakan alat ukur ketebalan Dry Film Thickness (DFT) maka nilai tersebut dapat dikatakan mendekati nilai ketebalan deposit pada Tabel 4.2.

Pada pengamatan secara mikro ini, selain mengamati penampakan spesimen uji dari sisi permukaan dan sisi penampang melintang (*cross section*), dilakukan pula pengujian menggunakan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDX) untuk mengetahui komposisi deposit lapisan *coating* yang terbentuk. Pengujian EDX ini dilakukan pada permukaan hasil lapisan. Hasil pengujian EDX dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil Uji EDX

Element	Wt %	At %
Zn	100	100

Seperti yang terlihat pada data diatas, dapat diketahui bahwa komposisi elemen penyusun deposit lapisan *coating* yang terbentuk pada spesimen uji tersusun atas 100% unsur *zinc* (Zn). Atau dapat juga dikatakan bahwa elemen unsur yang terdeposisi pada spesimen uji adalah sepenuhnya unsur *zinc* tanpa unsur pengotor dari unsur-unsur lain yang terdapat pada bak tempat proses *electroplating* berlangsung. Dari data hasil EDX tersebut juga dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa yang nampak seperti lubang-lubang pada permukaan lapisan *coating* seperti yang ditunjukkan Gambar 4.2 bukan merupakan suatu pori-pori yang tembus hingga ke *base metal* namun hanya sebuah cekungan pada permukaan hasil *coating* dimana pada dasar cekungan tersebut masih bagian dari lapisan *coating* seng (Zn). Hal ini sekaligus juga menandakan bahwa proses pelapisan yang berjalan pada spesimen uji sudah berjalan dengan cukup baik melapisi seluruh permukaan *base metal* spesimen uji.

4.2 Analisa Pengukuran Ketebalan Lapisan Coating

Pengukuran ketebalan lapisan deposit *coating* hasil dari proses *electroplating* ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa tebal lapisan yang dihasilkan dari proses tersebut. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat pengukur

ketebalan lapisan coating DFT (Dry Film Thickness) dengan merk Elcometer serta mengacu pada ASTM B499.

Pengukuran ketebalan dilakukan pada tiga titik spesimen uji yaitu dua titik disetiap ujung spesimen dan satu titik di tengah spesimen, kemudian dari ketiga titik tersebut diambil nilai rata-rata sebagai nilai akhir dari ketebalan lapisan coating pada spesimen uji tersebut. Hasil pengukuran ketebalan lapisan coating dengan metode elektroplating dari masing-masing variabel yang diuji pada penelitian ini sendiri dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa dari masing-masing konsentrasi memberikan nilai ketebalan yang berbeda-beda walaupun perbedaan nilai ketebalannya tidak terlalu besar.

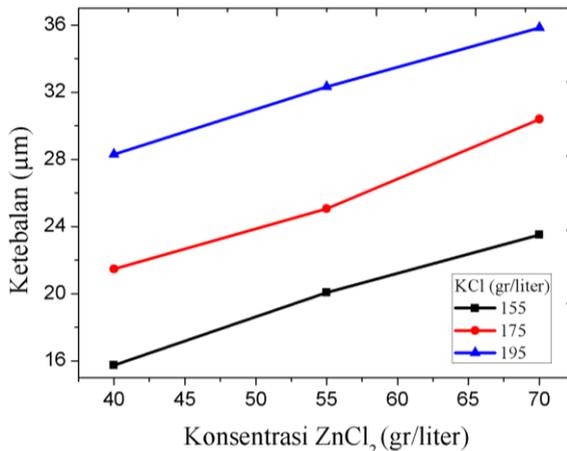
Tabel 4.2 Ketebalan Lapisan Coating Setiap Konsentrasi

Konsentrasi ZnCl ₂ (gr/liter)	Konsentrasi KCl (gr/liter)	Rata-Rata Ketebalan (μm)
40	155	15,73 ±0,51
55	155	20,07 ±0,25
70	155	23,50 ±0,53
40	175	21,47 ±0,38
55	175	25,07 ±0,15
70	175	30,40 ±0,26
40	195	28,30 ±0,20
55	195	32,33 ±0,21
70	195	35,83 ±0,25

Pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 155 gr/liter, rata-rata nilai ketebalan lapisannya untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 40 gr/liter adalah 15,73 ±0,51 μm, kemudian untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 55 gr/liter adalah 20,07 ±0,25 μm, dan untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 70 gr/liter adalah 23,50 ±0,53 μm. Selanjutnya pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 175 gr/liter, rata-rata nilai ketebalan lapisannya untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 40 gr/liter adalah 21,47 ±0,38 μm, kemudian untuk

konsentrasi ZnCl_2 sebesar 55 gr/liter adalah $25,07 \pm 0,15 \mu\text{m}$, dan untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 70 gr/liter adalah $30,40 \pm 0,26 \mu\text{m}$. Dan terakhir pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 195 gr/liter, rata-rata nilai ketebalan lapisannya untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 40 gr/liter adalah $28,30 \pm 0,20 \mu\text{m}$, kemudian untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 55 gr/liter adalah $32,33 \pm 0,21 \mu\text{m}$, dan untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 70 gr/liter adalah $35,83 \pm 0,25 \mu\text{m}$.

Menurut ASTM B633 – 13 nilai ketebalan minimum hasil elektroplating seng untuk klasifikasi yang kedua yaitu SC 3 (*severe*) adalah $12 \mu\text{m}$. Pada ketebalan ini lapisan dapat bertahan pada kondisi *outdoor* yang buruk seperti pengembunan, basah karena hujan, dan cairan pembersih. Lapisan dengan ketebalan ini aman untuk digunakan pada perangkat keras bangunan, perangkat keras militer, bagian-bagian pada mesin cuci dan juga beberapa komponen sepeda. Hasil elektroplating seng pada penelitian ini seperti yang tertera pada dengan Tabel 4.2 seluruhnya memiliki nilai ketebalan diatas $12 \mu\text{m}$ sehingga dapat dikatakan bahwa proses elektroplating yang berjalan sudah cukup baik melapisi spesimen uji.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Konsentrasi ZnCl_2 terhadap Ketebalan Deposit dengan Konsentrasi KCl yang Berbeda

Dapat dilihat dari Gambar 4.4 di atas bahwa nilai ketebalan dari setiap perbedaan konsentrasi mengalami kenaikan seiring dengan naiknya konsentrasi dari $ZnCl_2$, kenaikan ini terjadi karena ketika konsentrasi $ZnCl_2$ dinaikan maka kandungan ion Zn^{2+} pada $ZnCl_2$ akan ikut naik pula. Ketika ada aliran elektron dari anoda ke katoda (spesimen uji) dan elektron berkumpul di seluruh permukaan katoda maka ion Zn^{2+} akan sangat mudah untuk bergerak ke katoda dan menempel pada permukaan spesimen uji. Makin banyak konsentrasi ion Zn^{2+} yang terkandung didalam larutan elektrolit maka akan semakin banyak yang menempel pada permukaan spesimen uji. Sehingga hal tersebut mengakibatkan ketebalan dari lapisan deposit logam seng semakin tebal.

Fenomena nilai ketebalan dari setiap perbedaan konsentrasi yang mengalami kenaikan seiring dengan naiknya konsentrasi dari $ZnCl_2$ tersebut dapat pula berkaitan dengan perihail kekuatan ion. Dari persamaan 2.7 dapat terlihat bahwa nilai konsentrasi berbanding lurus dengan kekuatan ion, sehingga makin meningkat konsentrasi suatu larutan maka makin meningkat pula kekuatan ionnya. Kekuatan ion yang meningkat berdampak pada mobilitas ion yang meningkat pula sehingga transfer ion dapat berjalan dengan lebih lancar. Transfer ion Zn^{2+} yang lancar tentu dapat membawa dampak yang baik bagi lapisan, salah satu nya yakni semakin tebal. Oleh karena itu hal ini menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi $ZnCl_2$ pada larutan elektrolit akan memberikan pengaruh yang baik terhadap nilai ketebalan yang diperoleh.

Data grafik yang tersaji pada Gambar 4.4 dapat dibuat regresi linearnya dan didapatkan persamaan matematik hubungan antara konsentrasi $ZnCl_2$ dan konsentrasi KCl terhadap ketebalan lapisan seng yang dihasilkan.

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 155 gr/liter didapatkan Persamaan 4.1 sebagai berikut:

$$y = 3,8833x + 12.....(4.1)$$

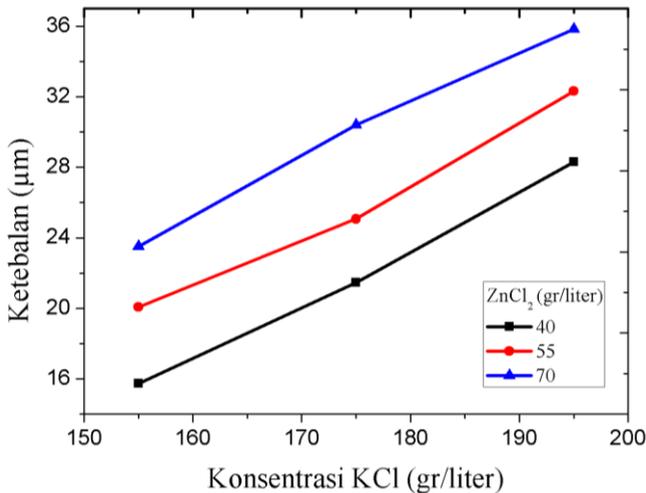
Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 175 gr/liter didapatkan Persamaan 4.2 sebagai berikut:

$$y = 4,4667x + 16,711 \dots \dots \dots (4.2)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 195 gr/liter didapatkan Persamaan 4.3 sebagai berikut:

$$y = 3,7667x + 24,622 \dots \dots \dots (4.3)$$

dimana y merupakan ketebalan lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah konsentrasi $ZnCl_2$. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan nilai konsentrasi $ZnCl_2$ yang dibutuhkan unruk mendapatkan ketebalan dari lapisan seng yang diinginkan dengan parameter proses yang telah ditentukan.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Konsentrasi KCl terhadap Ketebalan Deposit dengan Konsentrasi $ZnCl_2$ yang Berbeda

Dapat dilihat dari Gambar 4.5 di atas bahwa nilai ketebalan dari setiap perbedaan konsentrasi mengalami kenaikan seiring dengan naiknya konsentrasi dari KCl. Kenaikan ini dapat terjadi karena berkaitan dengan fungsi senyawa KCl itu sendiri sebagai *conducting salts* yang berfungsi untuk meningkatkan konduktivitas larutan. Sierka (2015) menyatakan bahwa kebanyakan *metal salts* (yang dalam penelitian ini adalah $ZnCl_2$) adalah konduktor yang cukup buruk (*low ionic mobilities*), sehingga *conducting salts* ditambahkan untuk meningkatkan konduktivitas larutan. Ketika konsentrasi KCl dinaikan maka konduktivitas larutan akan meningkat yang sama dengan memperlancar pergerakan ion-ion. Ketika pergerakan aliran elektron dari anoda ke katoda (spesimen uji) semakin lancar dan elektron berkumpul diseluruh permukaan katoda maka ion Zn^{2+} akan semakin lancar untuk bergerak ke katoda dan menempel pada permukaan spesimen uji. Makin lancar pergerakan ion Zn^{2+} maka akan semakin banyak yang menempel pada permukaan spesimen uji. Sehingga hal tersebut mengakibatkan ketebalan dari lapisan deposit logam seng semakin tebal. Oleh karena itu hal ini menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi KCl pada larutan elektrolit akan memberikan pengaruh yang baik terhadap nilai ketebalan yang diperoleh.

Data grafik yang tersaji pada Gambar 4.5 dapat dibuat regresi linearnya dan didapatkan persamaan matematik hubungan antara konsentrasi KCl dan konsentrasi $ZnCl_2$ terhadap ketebalan lapisan seng yang dihasilkan.

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 40 gr/liter didapatkan Persamaan 4.4 sebagai berikut:

$$y = 6,2833x + 9,2667.....(4.4)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 55 gr/liter didapatkan Persamaan 4.5 sebagai berikut:

$$y = 6,1333x + 13,556.....(4.5)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi ZnCl_2 70 gr/liter didapatkan Persamaan 4.6 sebagai berikut:

$$y = 6,1667x + 17,578 \dots \dots \dots (4.6)$$

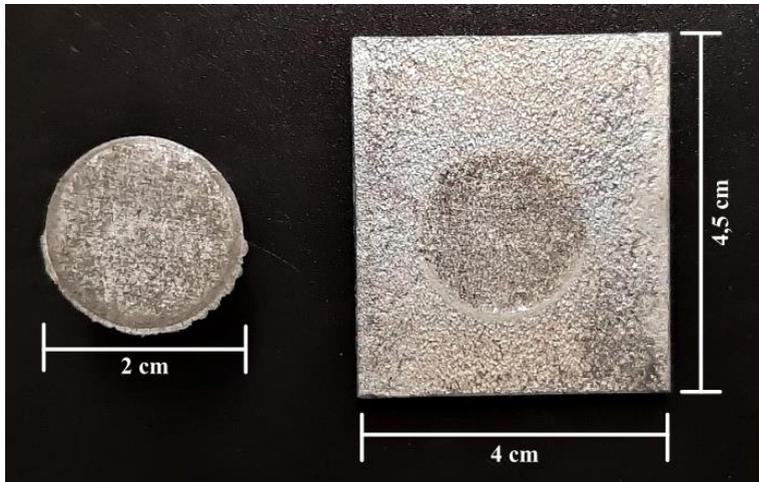
dimana y merupakan ketebalan lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah konsentrasi KCl. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan nilai konsentrasi KCl yang dibutuhkan untuk mendapatkan ketebalan dari lapisan seng yang diinginkan dengan parameter proses yang telah ditentukan.

4.3 Analisa Pengujian Nilai Adhesive Lapisan Coating

Pengujian daya lekat atau adhesion test ini dilakukan untuk mengetahui daya lekat lapisan deposit dari logam seng (Zn) yang menempel pada permukaan spesimen uji. Pengujian daya lekat ini mengacu pada ASTM D4541 dan menggunakan alat uji kelekatan PosiTest ATM Adhesion Tester. Pengujian daya lekat pada penelitian ini dilakukan pada kedua sisi masing-masing spesimen uji dari setiap variasi konsentrasi elektrolit yang sudah dilakukan sehingga didapatkan dua nilai daya lekat dari masing-masing variasi dan kemudian diambil nilai rata-ratanya.

Pada pengujian ini ada beberapa fenomena yang terjadi yaitu nilai daya lekat yang diperoleh untuk setiap konsentrasi bukan seluruhnya nilai daya lekat antara lapisan deposit coating dengan *base metal* spesimen bajanya, akan tetapi sebagian akibat kerusakan pada lem. Pada pengujian ini pin dolly ditempelkan pada permukaan spesimen uji dengan bantuan lem sebagai pelekatnya kemudian dibiarkan sampai lem kering. Pada waktu melakukan pengujian adhesif dengan mengangkat pin dolly dari lapisan, sebagian lapisan coating langsung terangkat dan sebagiannya lagi tidak terangkat atau masih menempel pada spesimen. Hal ini menandakan bahwa nilai daya lekat lapisan logam seng sangat kuat dan dimungkinkan lebih besar dari nilai yang didapatkan. Namun apabila dilihat pada Gambar 4.6 di bawah dimana gambar tersebut adalah hasil pengamatan visual pada spesimen uji setelah

dilakukanya uji adhesif, dapat terlihat bahwa lapisan seng yang terangkat bisa dikatakan lebih besar dibanding lapisan seng yang masih tersisa di areal pengujian sehingga nilai hasil kekuatan lekat yang tercatat dapat mewakili nilai kekuatan lekat dari lapisan seng tersebut.



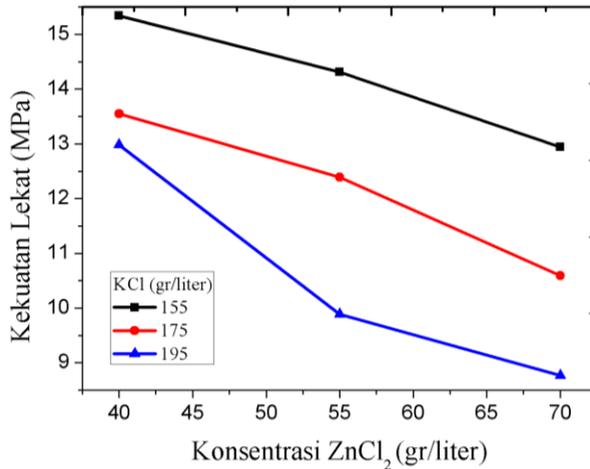
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Daya Lekat Lapisan Coating

Dari pengujian pull-off test tersebut didapatkan nilai daya lekat dari lapisan deposit seng (Zn) pada spesimen uji seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah:

Tabel 4.3 Nilai Daya Lekat Lapisan Deposit Seng (Zn)

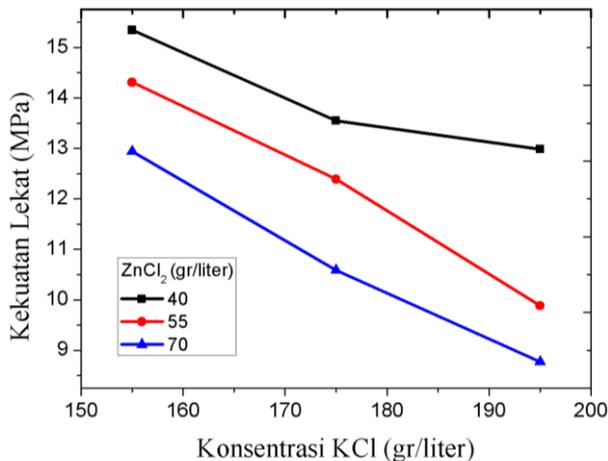
Konsentrasi ZnCl ₂ (gr/liter)	Konsentrasi KCl (gr/liter)	Rata-Rata Nilai Kelekatan (Mpa)
40	155	15,34 ±0,01
55	155	14,31 ±0,18
70	155	12,94 ±0,54
40	175	13,55 ±0,15
55	175	12,39 ±0,35
70	175	10,59 ±0,24
40	195	12,98 ±0,48
55	195	9,885 ±0,02
70	195	8,77 ±0,11

Hasil yang diperoleh dari pengujian daya lekat dari setiap perbedaan konsentrasi mengalami penurunan akan tetapi penurunan tersebut tidak terlalu signifikan seperti terlihat pada Tabel 4.3 di atas. Pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 155 gr/liter, rata-rata nilai kekuatan lekatnya untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 40 gr/liter adalah 15,34 ±0,01 MPa, kemudian untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 55 gr/liter adalah 14,31 ±0,18 MPa, dan untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 70 gr/liter adalah 12,94 ±0,54 MPa. Selanjutnya pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 175 gr/liter, rata-rata nilai kekuatan lekatnya untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 40 gr/liter adalah 13,55 ±0,15 MPa, kemudian untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 55 gr/liter adalah 12,39 ±0,35 MPa, dan untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 70 gr/liter adalah 10,59 ±0,24 MPa. Dan terakhir pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 195 gr/liter, rata-rata nilai kekuatan lekatnya untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 40 gr/liter adalah 12,98 ±0,48 MPa, kemudian untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 55 gr/liter adalah 9,885 ±0,02 MPa, dan untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 70 gr/liter adalah 8,77 ±0,11 MPa. Penurunan daya lekat pada setiap konsentrasi seperti terlihat pada Gambar 4.7 dan 4.8 dibawah sebagai berikut:



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Konsentrasi ZnCl₂ terhadap Kelekatan Deposit dengan Konsentrasi KCl yang Berbeda

Dari Gambar 4.7 di atas dapat terlihat suatu hubungan bahwa setiap kenaikan nilai konsentrasi seng klorida pada larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* memberi dampak menurunnya nilai kekuatan lekat lapisan seng yang terdeposit pada spesimen uji. Sedangkan hubungan antara konsentrasi kalium klorida dengan kelekatan lapisan coating seng dapat terlihat pada Gambar 4.8 dibawah:



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Konsentrasi KCl terhadap Kelekatan Deposit dengan Konsentrasi ZnCl₂ yang Berbeda

Dari Gambar 4.8 di atas dapat terlihat suatu hubungan bahwa setiap kenaikan nilai konsentrasi kalium klorida pada larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* memberi dampak menurunnya nilai kekuatan lekat lapisan seng yang terdeposit pada spesimen uji.

Fenomena hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai kelekatan lapisan seperti yang terlihat pada Gambar 4.7 dan 4.8 dapat dijelaskan dengan dihubungkan pada meningkatnya nilai ketebalan lapisan. Antunes dkk (2013) menyatakan bahwa dengan meningkatnya ketebalan lapisan coating yang dihasilkan maka akan menimbulkan tegangan permukaan yang lebih besar antara permukaan substrat dengan hasil coating sehingga nilai kekuatan lekatnya akan menurun. Pada penelitian ini, seperti dibahas pada subbab 4.1, terlihat bahwa dengan meningkatnya nilai konsentrasi larutan elektrolit akan memberi dampak meningkatkan ketebalan lapisan deposit seng sehingga dengan meningkatnya nilai konsentrasi larutan elektrolit juga akan menurunkan nilai kekuatan lekat lapisan seng yang terdeposit pada spesimen.

Malek (2013) menyebutkan bahwa pada pull-off adhesion test, nilai hasil pengujian deposit lapisan coating harus memiliki kekuatan lekat lebih dari 7 MPa dan jika nilai yang didapatkan kurang dari itu maka hasil lapisan coating tidak memenuhi kriteria dan akan ditolak. Pada penelitian ini, sesuai Tabel 4.3, pada semua variabel penelitian yang dilakukan diperoleh nilai kekuatan lekat lebih dari 7 MPa sehingga bisa dikatakan bahwa hasil proses electroplating pada penelitian ini sudah cukup baik.

Data grafik yang tersaji pada Gambar 4.7 dapat dibuat regresi linearnya dan didapatkan persamaan matematik hubungan antara konsentrasi $ZnCl_2$ dan konsentrasi KCl terhadap daya lekat lapisan seng yang dihasilkan.

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 155 gr/liter didapatkan Persamaan 4.7 sebagai berikut:

$$y = -1,205x + 16,61 \dots \dots \dots (4.7)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 175 gr/liter didapatkan Persamaan 4.8 sebagai berikut:

$$y = -1,48x + 15,137 \dots \dots \dots (4.8)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 195 gr/liter didapatkan Persamaan 4.9 sebagai berikut:

$$y = -2,105x + 14,755 \dots \dots \dots (4.9)$$

dimana y merupakan daya lekat lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah konsentrasi $ZnCl_2$. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan nilai konsentrasi $ZnCl_2$ yang dibutuhkan unruk mendapatkan daya lekat dari lapisan seng yang diinginkan dengan parameter proses yang telah ditentukan.

Sementara data grafik yang tersaji pada Gambar 4.8 juga dapat dibuat regresi linearnya dan didapatkan persamaan

matematik hubungan antara konsentrasi KCl dan konsentrasi $ZnCl_2$ terhadap daya lekat lapisan seng yang dihasilkan.

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 40 gr/liter didapatkan Persamaan 4.10 sebagai berikut:

$$y = -1,185x + 16,33 \dots \dots \dots (4.10)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 55 gr/liter didapatkan Persamaan 4.11 sebagai berikut:

$$y = -2,2125x + 16,62 \dots \dots \dots (4.11)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 70 gr/liter didapatkan Persamaan 4.12 sebagai berikut:

$$y = -2,085x + 14,937 \dots \dots \dots (4.12)$$

dimana y merupakan daya lekat lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah konsentrasi KCl. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan nilai konsentrasi KCl yang dibutuhkan unruk mendapatkan daya lekat dari lapisan seng yang diinginkan dengan parameter proses yang telah ditentukan.

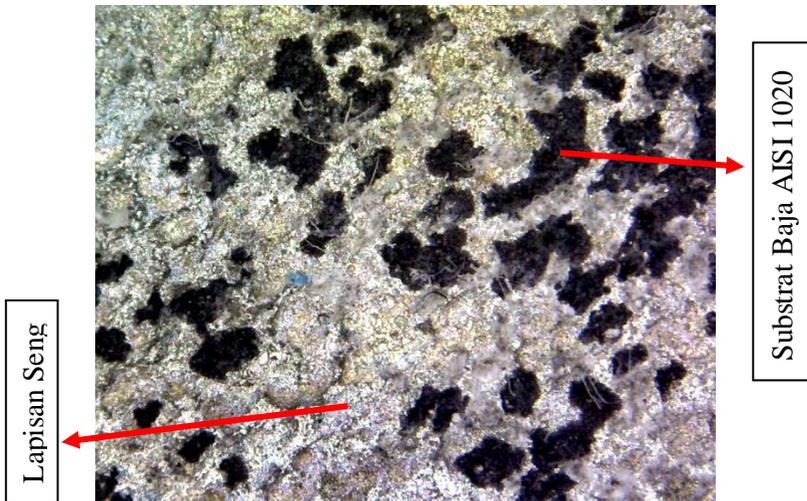
4.4 Analisa Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*) ini bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat material atau spesimen uji terdegradasi akibat pengaruh lingkungan. Pada pengujian laju korosi ini mengacu pada ASTM G31-72 yang merupakan standar metode *immersion corrosion testing of metals*. Pada pengujian ini spesimen direndam pada suatu wadah selama 96 jam menggunakan larutan NaCl 3,5%. Laju korosi pada penelitian ini dilakukan dengan melihat berat yang hilang (*weight loss*) dari spesimen uji dibandingkan dengan berat awal dari spesimen uji sebelum terkorosi.

Pengujian laju korosi dimulai dari memosisikan spesimen uji didalam wadah dengan mengikatkan pada batang-batang melalui benang yang dililit seperti pada Gambar 3.8. Setelah itu larutan NaCl 3,5% dimasukkan pada wadah hingga merendam spesimen uji pada wadah tersebut. Larutan NaCl ini menyebabkan logam cepat terkorosi. Dengan adanya logam seng yang bertindak sebagai pelapis (*coating*) pada permukaan spesimen uji maka laju korosi pada spesimen uji dapat diminimalkan atau dikurangi sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengkorosi spesimen uji tersebut menjadi lebih lama. Pada uji ini larutan garam yang ada didalam wadah tidak langsung bereaksi dengan spesimen uji tetapi akan bereaksi dengan logam seng terlebih dahulu. Ketika spesimen uji terendam dalam larutan NaCl 3,5% selama 96 jam maka akan terjadi korosi pada spesimen uji yang diakibatkan reaksi antara lapisan seng pada spesimen uji dengan larutan NaCl sesuai Persamaan 4.13 sebagai berikut:



Reaksi diatas terjadi karena spesimen uji yang berupa baja karbon rendah sudah dilapisi oleh logam seng yang memiliki nilai potensial sel yang lebih rendah dari baja maka yang terlebih dahulu bereaksi dengan larutan NaCl adalah logam seng sebelum bereaksi dengan baja. Pun juga dikarenakan adanya lapisan seng tersebut maka yang pertama terbentuk dari reaksi tersebut adalah produk korosi dengan logam seng yang berwarna hitam pada permukaan spesimen uji seperti pada Gambar 4.9 dibawah:



Gambar 4.9 Pengamatan dengan Perbesaran 100x pada Spesimen Uji Setelah Dilakukan Uji Korosi

Akibat dari adanya interaksi antara spesimen uji dengan larutan NaCl 3,5% tersebut maka berat dari spesimen uji akan berkurang sedikit demi sedikit. Pengurangan berat tersebut diamati dan dianalisa untuk mengetahui kehilangan berat (*weight loss*) yang terjadi pada spesimen uji selama pengujian berlangsung.

Data *weight loss* tersebut sangat berhubungan dengan nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen uji selama proses pengujian berlangsung. Kehilangan berat (*weight loss*) pada spesimen uji dapat dijadikan data acuan untuk menghitung nilai laju korosi yang terjadi. Untuk mengetahui nilai laju korosi pada spesimen uji selama pengujian berlangsung dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus laju korosi sesuai persamaan 2.19.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa nilai variabel yang diperhitungkan dalam persamaan 2.19 yakni, nilai K sebagai konstanta laju korosi sebesar $8,76 \times 10^4$ untuk satuan mmpy (milimeter per year), nilai W sebagai nilai *Weight Loss* (dalam satuan gram) sesuai Tabel 4.4, nilai T sebagai waktu paparan (dalam satuan jam) dengan nilai sebesar 96 jam dalam penelitian

ini, nilai A sebagai luas permukaan spesimen (dalam satuan cm^2) dengan nilai sebesar $42,8 \text{ cm}^2$ dalam penelitian ini, dan nilai D sebagai densitas spesimen (dalam satuan g/cm^3) dengan nilai sebesar $7,87 \text{ g/cm}^3$ (Azo Materials, 2012) yang merupakan nilai densitas baja AISI 1020 sebagai spesimen uji penelitian ini.

Data nilai berat spesimen uji yang hilang (*weight loss*) akibat terkorosi beserta nilai laju korosi spesimen uji dari perhitungan data *weight loss* hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah sebagai berikut:

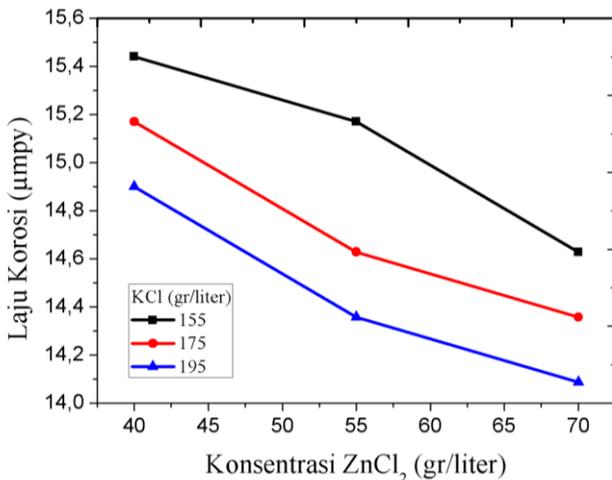
Tabel 4.4 Data Nilai *Weight Loss* dan Laju Korosi Spesimen Setelah Pengujian *Immersion Corrosion Test*

Konsentrasi ZnCl ₂ (gr/liter)	Konsentrasi KCl (gr/liter)	Rata-Rata Weight Loss (gram)	Rata-Rata Laju Korosi (mmpy)
40	155	0,0057 ±0,0004	0,015441 ±0,0011
55	155	0,0056 ±0,0010	0,015171 ±0,0027
70	155	0,0054 ±0,0001	0,014629 ±0,0004
40	175	0,0056 ±0,0003	0,015171 ±0,0008
55	175	0,0054 ±0,0001	0,014629 ±0,0001
70	175	0,0053 ±0,0009	0,014358 ±0,0027
40	195	0,0055 ±0,0005	0,014900 ±0,0015
55	195	0,0053 ±0,0005	0,014358 ±0,0015
70	195	0,0052 ±0,0012	0,014087 ±0,0034

Dari Tabel 4.4 di atas dapat diketahui nilai laju korosi pada beberapa variasi konsentrasi larutan elektrolit yang diteliti pada penelitian ini sebagai berikut. Pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 155 gr/liter, rata-rata nilai laju korosinya untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 40 gr/liter adalah $0,015441 \pm 0,0011 \text{ mm/y}$ atau $15,441 \mu\text{m/y}$, kemudian untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 55 gr/liter adalah $0,015171 \pm 0,0027$ atau $15,171 \mu\text{m/y}$, dan untuk konsentrasi ZnCl₂ sebesar 70 gr/liter adalah $0,014629 \pm 0,0004 \text{ mm/y}$ atau $14,629 \mu\text{m/y}$. Selanjutnya pada satu

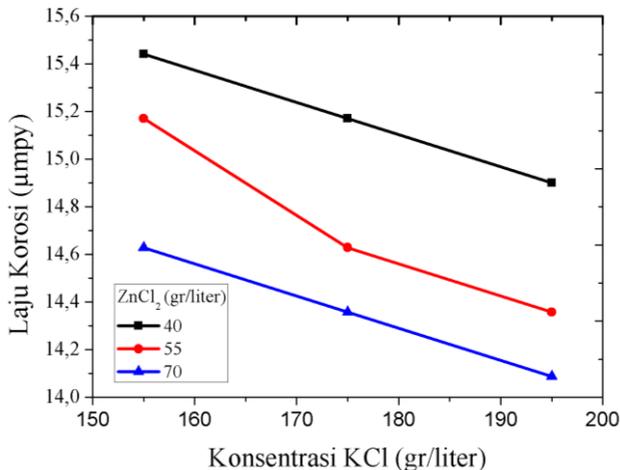
konsentrasi KCl yang sama sebesar 175 gr/liter, rata-rata nilai laju korosinya untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 40 gr/liter adalah $0,015171 \pm 0,0008$ mm/y atau $15,171 \mu\text{m/y}$, kemudian untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 55 gr/liter adalah $0,014629 \pm 0,0001$ mm/y atau $14,629 \mu\text{m/y}$, dan untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 70 gr/liter adalah $0,014358 \pm 0,0027$ mm/y atau $14,358 \mu\text{m/y}$. Dan terakhir pada satu konsentrasi KCl yang sama sebesar 195 gr/liter, rata-rata nilai laju korosinya untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 40 gr/liter adalah $0,014900 \pm 0,0015$ mm/y atau $14,9 \mu\text{m/y}$, untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 55 gr/liter adalah $0,014358 \pm 0,0015$ mm/y atau $14,358 \mu\text{m/y}$, dan untuk konsentrasi ZnCl_2 sebesar 70 gr/liter adalah $0,014087 \pm 0,0034$ mm/y atau $14,087 \mu\text{m/y}$.

Dari Tabel 4.4 tersebut dapat dilihat pula bahwa nilai laju korosi untuk setiap variabel konsentrasi, baik ZnCl_2 maupun KCl, menunjukkan pola trend yang seragam yakni semakin meningkat konsentrasinya mengakibatkan menurunnya nilai laju korosi. Trend penurunan laju korosi lebih lanjut dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 di bawah sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Konsentrasi ZnCl_2 terhadap Laju Korosi Spesimen dengan Konsentrasi KCl yang Berbeda

Dari Gambar 4.10 di atas dapat terlihat suatu hubungan bahwa setiap kenaikan nilai konsentrasi seng klorida pada larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* memberi dampak menurunnya nilai laju korosi pada spesimen uji. Sedangkan hubungan antara konsentrasi kalium klorida dengan nilai laju korosi spesimen uji dapat terlihat pada Gambar 4.11 di bawah:



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Konsentrasi KCl terhadap Laju Korosi Spesimen dengan Konsentrasi ZnCl₂ yang Berbeda

Dari Gambar 4.11 di atas dapat terlihat pula suatu hubungan bahwa setiap kenaikan nilai konsentrasi kalium klorida yang terdapat pada larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* juga memberi dampak kepada menurunnya nilai laju korosi pada spesimen uji.

Trend penurunan laju korosi pada setiap kenaikan variabel konsentrasi larutan elektrolit yang diteliti pada penelitian ini dapat dijelaskan dengan dihubungkan pada meningkatnya nilai ketebalan lapisan deposit seng yang terjadi. Idora (2014) menyebutkan bahwa ketahanan korosi dari sebuah baja yang dilapisi dengan seng

bergantung pada ketebalan lapisan seng yang dihasilkan. Semakin tebal lapisan seng yang melapisi sebuah baja akan meningkatkan ketahanan korosinya. Hal ini diperkuat oleh Sandoval (2017) yang juga menjelaskan bahwa ketebalan lapisan seng pada sebuah baja akan meningkatkan ketahanan korosi dari baja tersebut karena semakin tebal lapisan seng pada sebuah baja akan menyebabkan penetrasi dari ion-ion yang bersifat korosif menuju baja menjadi lebih sulit. Pada penelitian ini, seperti dibahas pada subbab 4.1, terlihat bahwa dengan meningkatnya nilai konsentrasi larutan elektrolit akan memberi dampak meningkatkan ketebalan lapisan deposit seng sehingga dengan meningkatnya nilai konsentrasi larutan elektrolit juga akan menurunkan nilai laju korosi pada spesimen uji.

Jika dibandingkan antara nilai laju korosi hasil pengujian pada penelitian ini yang tertera pada Tabel 4.4 dengan standar ISO 12944 bagian 2 yang menjelaskan tentang lima kategori klasifikasi laju korosi berdasarkan dampak yang ditimbulkan kepada logam, yang dapat dilihat pada Tabel 2.9, maka dapat dilihat bahwa seluruh nilai laju korosi yang terjadi pada spesimen uji berada pada daerah rendah yaitu antara 1,3 -25 $\mu\text{m}/\text{y}$. Hal ini menunjukkan bahwa laju korosi yang terjadi pada spesimen uji berada pada daerah dengan laju korosi yang rendah. Sehingga bisa dikatakan bahwa proses electroplating yang telah berjalan sudah menghasilkan deposit lapisan yang cukup baik melindungi spesimen.

Data grafik yang tersaji pada Gambar 4.10 dapat dibuat regresi linearnya dan didapatkan persamaan matematik hubungan antara konsentrasi ZnCl_2 dan konsentrasi KCl terhadap laju korosi lapisan seng yang dihasilkan.

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 155 gr/liter didapatkan Persamaan 4.14 sebagai berikut:

$$y = -0,0004x + 0,0159 \dots \dots \dots (4.14)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 175 gr/liter didapatkan Persamaan 4.15 sebagai berikut:

$$y = -0,0004x + 0,0155 \dots \dots \dots (4.15)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi KCl 195 gr/liter didapatkan Persamaan 4.16 sebagai berikut:

$$y = -0,0004x + 0,0153 \dots \dots \dots (4.16)$$

dimana y merupakan laju korosi lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah konsentrasi $ZnCl_2$. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan nilai konsentrasi $ZnCl_2$ yang dibutuhkan untuk mendapatkan laju korosi dari lapisan seng yang diinginkan dengan parameter proses yang telah ditentukan.

Sementara data grafik yang tersaji pada Gambar 4.11 juga dapat dibuat regresi linearnya dan didapatkan persamaan matematik hubungan antara konsentrasi KCl dan konsentrasi $ZnCl_2$ terhadap laju korosi lapisan seng yang dihasilkan.

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 40 gr/liter didapatkan Persamaan 4.17 sebagai berikut:

$$y = -0,0003x + 0,0157 \dots \dots \dots (4.17)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 55 gr/liter didapatkan Persamaan 4.18 sebagai berikut:

$$y = -0,0004x + 0,0155 \dots \dots \dots (4.18)$$

Untuk proses elektroplating pada konsentrasi $ZnCl_2$ 70 gr/liter didapatkan Persamaan 4.19 sebagai berikut:

$$y = -0,0003x + 0,0149 \dots \dots \dots (4.19)$$

dimana y merupakan laju korosi lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah konsentrasi KCl. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan nilai konsentrasi KCl yang dibutuhkan untuk mendapatkan laju korosi dari lapisan seng yang diinginkan dengan parameter proses yang telah ditentukan.

4.5 Penentuan Variasi Optimum

Berdasarkan data nilai hasil pengujian-pengujian yang telah dilakukan pada penelitian ini seperti yang tertera pada subbab-subbab sebelumnya, selanjutnya dapat dilakukan penilaian melalui metode skoring untuk menentukan variabel yang paling optimum terhadap lapisan *coating* seng yang dihasilkan. Metode skoring tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Hasil Metode Skoring Lapisan Elektroplating Seng

Konsentrasi ZnCl ₂ (gr/liter)	Konsentrasi KCl (gr/liter)	Ketebalan	Adhesi	Laju Korosi	Hasil Skoring
40	155	1	9	1	9
55	155	2	8	2	32
70	155	4	5	4	80
40	175	3	7	2	42
55	175	5	4	4	80
70	175	7	3	5	105
40	195	6	6	3	108
55	195	8	2	5	80
70	195	9	1	6	54

Keterangan:

- Untuk nilai skoring ketebalan dan kekuatan lekat diberikan dengan mengurutkan dari nilai hasil pengujian yang paling rendah (1) hingga paling tinggi (9).

-
- Untuk nilai skoring ketahanan korosi diberikan dengan mengurutkan dari nilai hasil pengujian laju korosi yang paling tinggi (1) hingga paling rendah (6).
 - Nilai ketebalan minimum yaitu 12 μm , kurang dari batas minimum maka skornya adalah 0.
 - Nilai kekuatan lekat minimum yaitu 7 MPa, kurang dari batas minimum maka skornya adalah 0.
 - Nilai laju korosi maksimum yaitu 25 $\mu\text{m/tpy}$, lebih dari batas maksimum maka skornya adalah 0.

Dari nilai skor yang sudah ditetapkan, kemudian dilakukan perkalian untuk masing-masing variabel yang ada dan dicari nilai skor akhir yang paling tinggi. Pada bagian skoring nilai laju korosi terdapat beberapa fenomena skor yang sama dikarenakan nilai laju korosi yang didapatkan juga sama pada variabel-variabel tersebut.

Dari Tabel 4.5 diatas didapatkan nilai skor yang paling tinggi yakni sebesar 108 pada variabel konsentrasi ZnCl_2 sebesar 40 gr/liter dan variabel konsentrasi KCl 195 gr/liter. Bisa dikatakan bahwa lapisan seng hasil proses elektroplating pada penelitian ini yang memiliki hasil paling optimum yaitu pada variabel konsentrasi ZnCl_2 sebesar 40 gr/liter dan variabel konsentrasi KCl 195 gr/liter. Pada variasi ini deposit hasil lapisan seng memiliki kombinasi nilai ketebalan, kekuatan lekat, dan ketahanan korosi yang paling optimum.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kesimpulan:

1. Penambahan konsentrasi dari seng klorida ($ZnCl_2$) dan kalium klorida (KCl) pada larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* memberikan pengaruh terhadap ketebalan dan kekuatan lekat pada spesimen uji, yaitu semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit maka ketebalan lapisan coating semakin tebal hingga dapat mencapai nilai ketebalan maksimal sebesar $35,83 \pm 0,25 \mu m$ namun nilai kekuatan lekatnya semakin menurun dengan perolehan nilai kekuatan lekat maksimum sebesar $15,34 \pm 0,01 MPa$.
2. Penambahan konsentrasi dari seng klorida ($ZnCl_2$) dan kalium klorida (KCl) pada larutan elektrolit *Zinc Chloride Acid* memberi dampak kepada menurunnya nilai laju korosi pada spesimen uji dengan perolehan nilai laju korosi paling lambat sebesar $0,014087 \pm 0,0034 mmpy$.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan penelitian dengan rentang konsentrasi larutan elektrolit yang lebih besar
2. Melakukan preparasi spesimen uji dengan teliti agar mendapatkan nilai adhesif yang lebih baik.
3. Lebih memperhatikan lagi ASTM B633-13 dengan lebih seksama dan detail terutama bagian standar-standar pengujian

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2011. **ASTM B374 - 06, Standard Terminology Relating to Electroplating.** ASTM International, West Conshohocken, United States.
- _____. 2014. **ASTM B499 - 09, Standard Test Method for Measurement of Coating Thicknesses by the Magnetic Method: Nonmagnetic Coatings on Magnetic Basis Metals.** ASTM International, West Conshohocken, United States.
- _____. 2013. **ASTM B633-13, Standard Specification for Electrodeposited Coatings of Zinc on Iron and Steel.** ASTM International, West Conshohocken, United States.
- _____. 2002. **ASTM D4541-02, Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.** ASTM International, West Conshohocken, United States.
- _____. 2011. **ASTM G1-03, Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Spesimens.** ASTM International, West Conshohocken, United States.
- _____. 2004. **ASTM G31-72, Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals.** ASTM International, West Conshohocken, United States.
- _____. 2017. **ISO 12944-2, Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems -- Part 2: Classification of environments.** International Organization for Standardization, Genève, Switzerland
- 290 Bright Acid Zinc Plating Process. **Technical Information Atotech Canada Ltd.** Ontario, Canada.
- Afriany, Reny. 2012. "Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Waktu Pelapisan Nikel pada Alumunium terhadap Kekerasan". **Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains &**

-
- Teknologi (SNAST) Periode III ISSN: 1979-911X.**
Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Antunes, Jose Fernando, Brito, Vinisius Ribeiro dos Santos de Sa, Bastos, Ivan Napoleao, Costa, Hector Reynaldo Meneses. (2013). "Characterization of FeCr and FeCoCr alloy Coatings of Carbon Steels for Marine Environment Applications". **Applied Adhesion Science** 2013 1:3.
- Arthur A. 2007. **Coatings Technology Handbook 3rd Edition.** Taylor & Francis Group, LLC. London.
- Azo Materials. 2012. **AISI 1020 Low Carbon/Low Tensile Steel.** URL <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6114>
- Brenner, Abner. 1963. **Electrodeposition of Alloys Principle and Practice.** New York : Academic Press Inc.
- Calister, William D. 2009. **Materials Science And Engineering An Introduction 8th Edition.** USA: John Wiley and Son.
- Campbell, F. C. 2008. **Elements of Metallurgy and Engineering Alloys.** United States of America : ASM International
- Canning, W. 1978. **The Canning Handbook on Electroplating.** Birmingham: W. Canning & Co
- Chamberlain J., Trethewey K.R. 1991, **KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan).** Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Dry Film Thickness. **Catalogue Elcometer Inspection Equipment.** Elcometer Limited, 2016. Michigan, USA.
- El-Giar , E., M., Said, R.A., Bridge, G.E., Thomson, D.J. 2000. "Localized Electrochemical Deposition of Copper Microstructure". **Journal of the Electrochemical Society.**
- Fontana, M. G. 1987. **Corrosion Engineering Third Edition.** New York: McGraw-Hill Book Company.
- Gamburg and Zangari, 2011. **Theory and Practice of Metal Electrodeposition.** New York, United States of America : Springer Science+Business Media, LLC
- Harris, Daniel C. 2007. **Quantitative Chemical Analysis.** New York: W. H. Freeman and Company.
-

-
- Hermanto, Kikin. 2015. “Pengaruh Pencampuran Konsentrasi H₂CrO₄ Dan Gelatin Dalam Elektrolit Gel Terhadap Ketebalan Dan Kekuatan Lekat Lapisan Krom Pada Baja Dengan Metode Elektroplating”. **Jurnal POMITS ITS**. Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Hosking, M.A. Strom, P.H. Shipway, C.D. Rudd.2007. “Corrosion Resistance Of Zinc–Magnesium Coated Steel”. **Corrosion Science Volume 49, Issue 9**, September 2007, Pages 3669– 3695
- Hosny, M.E. El-Rafei, T.A. Ramadan, B.A. El-Gafari. 1995. “Corrosion Resistance of Zinc Coatings Produced from a Sulfate Bath”. **Metal Finishing Volume 93, Issue 11**, November 1995, Pages 55–59
- Huang, Y. and Lou, H.H. 2006. **Electroplating In: Encyclopedia of Chemical Processing**. New York: Taylor and Francis.
- Idora, M.S. Noor., dkk. 2014. “Effect of Zinc Coating Thickness on Corrosion Performance of Mild Steel in Atmospheric and Seawater Environment.” **Applied Mechanics and Materials**. Vol. 554: 213-217.
- Irwanto. 2010. “Pengaruh Jarak Anoda-Katoda dan Pemerata Arus terhadap Ketebalan Lapisan dan Efisiensi Katoda pada Elektroplating Tembaga Asam untuk Baja Karbon Sedang”. **Jurnal Unila**. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Jones, Denny A. 1992. **Principles and Prevention of Corrosion**. Singapura: Macmillan..
- Kanani, Naser. 2005. **Basic Principles, Processes and Practice**. Berlin, Germany : Elsevier Ltd.
- Kirk., Othmer. 1979. **Encyclopedia of Chemical Technology 3rd Edition Volume 6**. New York: Willey..
- Lowenheim, A Frederick. 1978. **Electroplating : Fundamentals Of Surface Finishing**. New York: McGRAW-Hill Book Company.
-

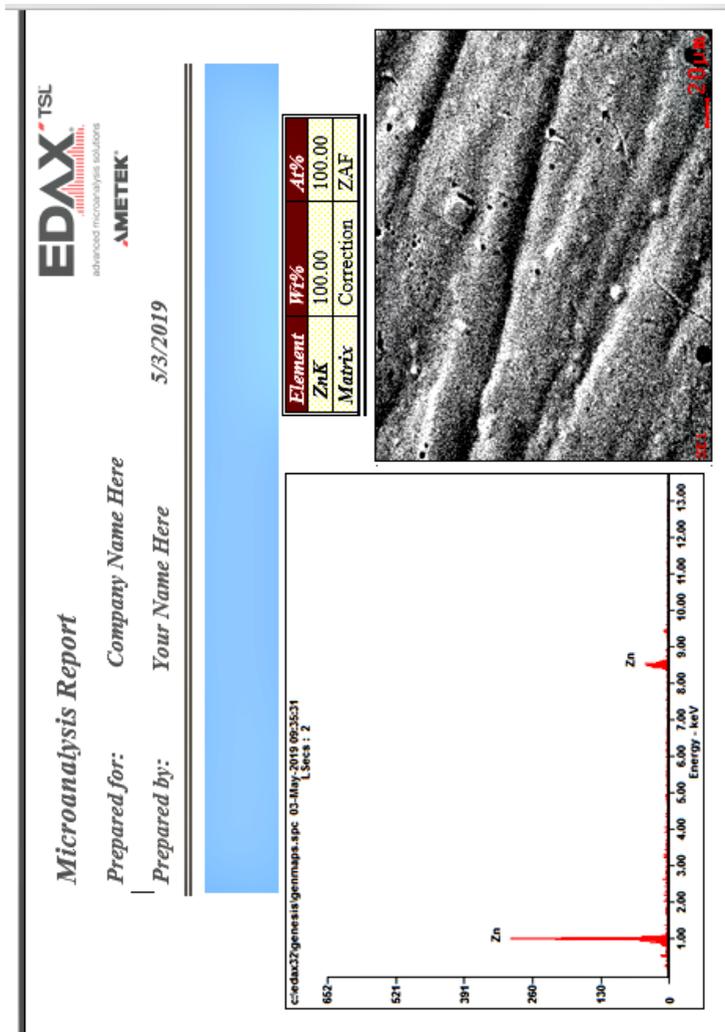
-
- Malek, Muhamad Hafiz. 2013. "Performance and Microstructure Analysis of 99.5% Aluminium Coating by Thermal Arc Spray Technique". **Procedia Engineering** **68** (2013) 558 – 565.
- Muhyidin A.M.. 2016. "Pengaruh Penambahan Konsentrasi ZnSO₄ Terhadap Ketebalan, Sifat Adhesif dan Ketahanan Korosi pada Baja ASTM A213 T11 dengan Metode Elektroplating". **Jurnal POMITS ITS**. Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Møller. 2014. "Evaluation of Atmospheric Corrosion on Electroplated Zinc and Zinc-Nickel Coatings by Electrical Resistance (ER) Monitoring". **Nasf Surface Technology White Papers**. 78 (5)
- NACE International, 2016. **NACE study estimates global cost of corrosion at \$2,5 trillion annually**. <URL: <https://inspectioneering.com/news/2016-03-08/5202/nace-study-estimates-global-cost-of-corrosion-at-25-trillion-ann>>
- Poyner, J.A. 1987. **Electroplating**. Hertfordshire England: Argus Book.
- Pull-Off Adhesion Tester. **PosiTest AT Brochure**. DeFelsko Corporation: New York. USA
- Roberge, Pierre R. 1999. **Handbook Of Corrosion Engineering**. McGraw-Hill. New York Tracton,
- Sandoval, A. Amador., dkk. 2017. "The Effect of Zinc Thickness on Corrosion Film Breakdown of Colombian Galvanized Steel". **Journal of Physics** : Series 935
- Setiono, Pudjaatmaka Hayana. 1990. **Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Karo Dan Semimikro**. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka.
- Seyforth, James A. 2015. "Scanning Electron Microscopy (SEM): An Introduction to the use of SEM for characterising the Surface Topology and Composition of Matter with Further Applications". **Experimental Techniques In Condensed Matter Physics**. King's College London.
-

-
- Sierka, Christopher Eric. 2015. "Industrial Zinc Plating Processes". Theses and Dissertations. **Knowledge Repository IUP 1283**. Indiana University of Pennsylvania.
- Silberberg, Martin, dkk. 2000. **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change**. The McGraw-Hill Publishing Companies.
- Sugiyarta. 2012. "Pengaruh Konsentrasi Larutan dan Kuat Arus terhadap Ketebalan pada Proses Pelapisan Nikel untuk Baja Karbon Rendah". **Jurnal ROTASI – Vol. 14**, No. 4, Oktober 2012: 23–27. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sulaiman, A. 1978. "Korosi Laut, Lingkungan dan Pengaruhnya terhadap Korosi". **Prosiding Seminar Nasional Elektrokimia** Hal 34. Publitbang LIPI Tangerang.
- Supriadi, Harnowo. 2010. "Studi Eksperimental Tentang Pengaruh Variasi Rapat Arus Pada Hard Chrome Electroplating Terhadap Karakteristik Permukaan Baja Karbon Rendah". **Jurnal Unila**. Universitas Lampung : Bandar Lampung.
- World Steel Association, 2018. **Worldsteel Short Range Outlook 2018/2019**. <URL: <https://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2018/worldsteel-Short-Range-Outlook-2018-2019.html>>
- Yanjerappa Arthoba Naik, Thimmappa Venkatarangaiiah Venkatesha, Perdur Vasudeva Nayak. 2002. "Electrodeposition Of Zinc From Chloride Solution". **Surface and Coating Technology 26** (2002) , 725 – 733
- Yerikho. 2013. "Optimalisasi Variasi Tegangan dan Waktu Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan pada Plat Baja Karbon Rendah dengan Proses Elektroplating Menggunakan Pelapis Seng". **Jurnal MEKANIKA Volume 11** Nomor 2, Maret 2013. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
-

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

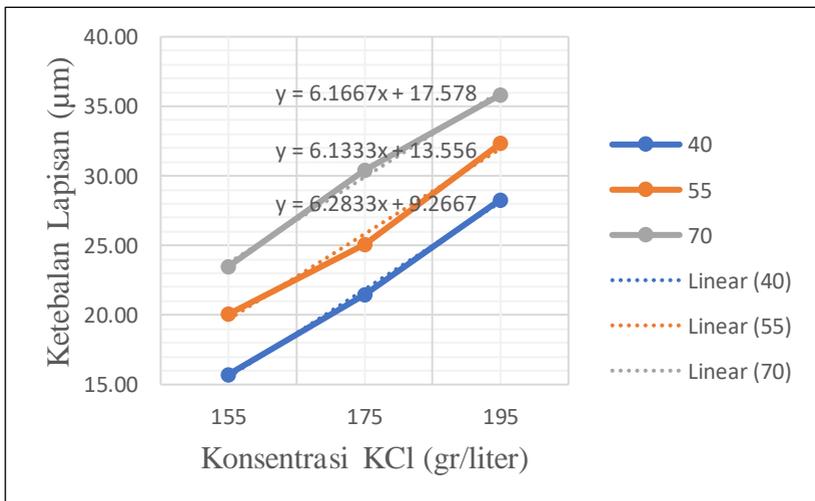
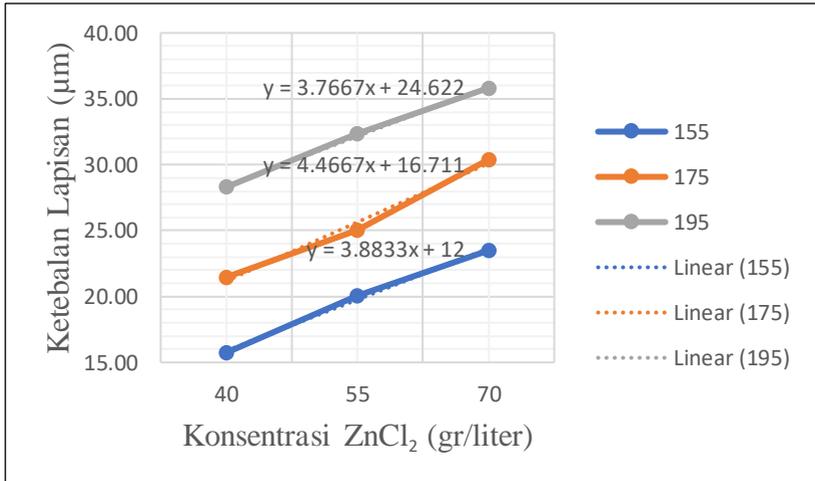
A. Hasil Pengujian SEM-EDX



B. Pengukuran Ketebalan Lapisan Coating

Konsentrasi ZnCl ₂ (gr/liter)	Konsentrasi KCl (gr/liter)	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-Rata Ketebalan (μm)
40	155	15,3	15,6	16,3	15,73
55	155	20,3	19,8	20,1	20,07
70	155	23,9	23,7	22,9	23,5
40	175	21,9	21,2	21,3	21,47
55	175	24,9	25,1	25,2	25,07
70	175	30,1	30,6	30,5	30,4
40	195	28,1	28,5	28,3	28,3
55	195	32,5	32,1	32,4	32,33
70	195	36,1	35,6	35,8	35,83

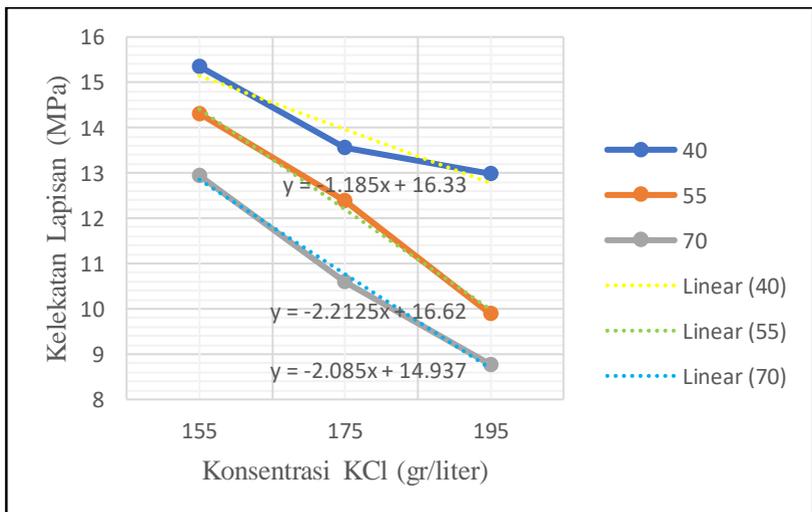
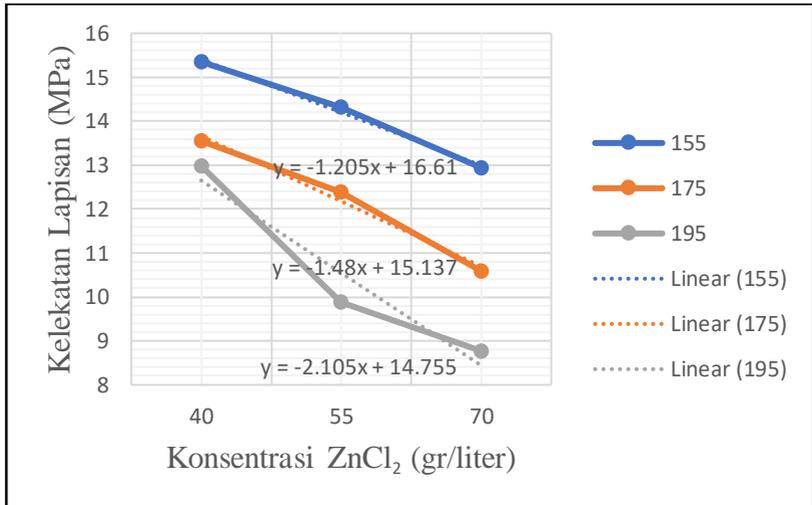
C. Grafik Regresi Linear Konsentrasi vs Ketebalan Lapisan



D. Pengukuran Daya Lekat Lapisan Coating

Konsentrasi ZnCl ₂ (gr/liter)	Konsentrasi KCl (gr/liter)	Sampel 1 (Mpa)	Sampel 2 (MPa)	Rata-Rata Nilai Kelekatan (Mpa)
40	155	15,35	15,33	15,34
55	155	14,44	14,18	14,31
70	155	12,56	13,32	12,94
40	175	13,44	13,66	13,55
55	175	12,64	12,14	12,39
70	175	10,76	10,42	10,59
40	195	13,32	12,64	12,98
55	195	9,9	9,87	9,885
70	195	8,85	8,69	8,77

E. Grafik Regresi Linear Konsentrasi vs Kelekatan Lapisan



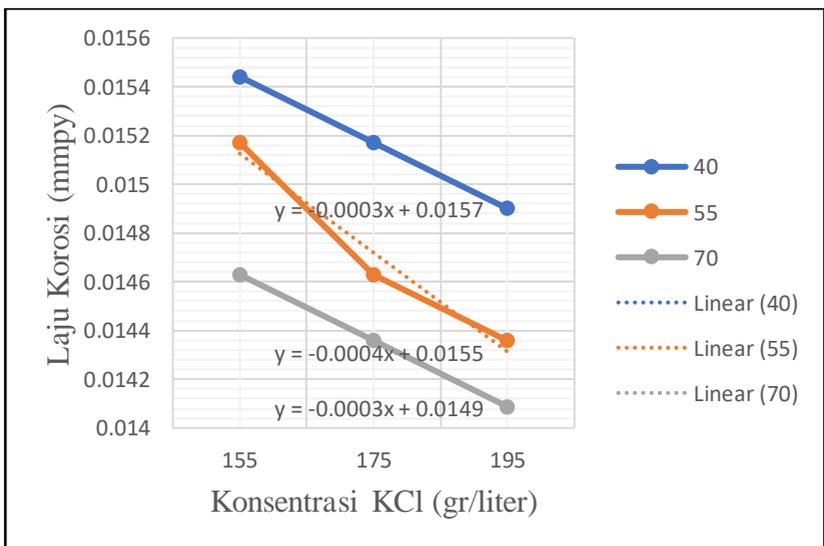
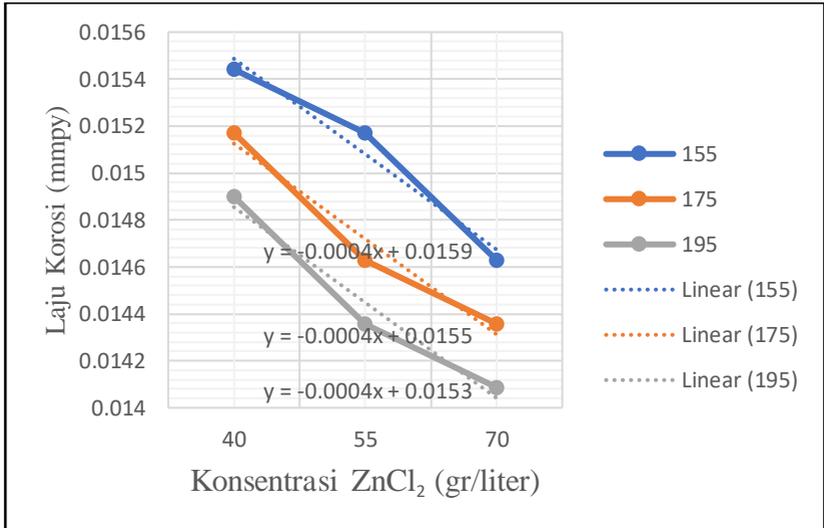
F. Perhitungan Laju Korosi

Konsentrasi ZnCl ₂ (gr/liter)	Konsentrasi KCl (gr/liter)	W1	W2	W3	cr	CR
40	155	51,2504	51,245	0,0054	0,014629	0,015441
		50,7823	50,7763	0,006	0,016254	
55	155	49,8764	49,8701	0,0063	0,017067	0,015171
		48,4333	48,4284	0,0049	0,013274	
70	155	50,3731	50,3678	0,0053	0,014358	0,014629
		49,9241	49,9186	0,0055	0,0149	
40	175	48,4333	48,4279	0,0054	0,014629	0,015171
		49,6784	49,6726	0,0058	0,015712	
55	175	48,0902	48,0848	0,0054	0,014629	0,014629
		49,8767	49,8713	0,0054	0,014629	
70	175	51,6965	51,6905	0,006	0,016254	0,014358
		50,3812	50,3766	0,0046	0,012462	
40	195	48,0902	48,0851	0,0051	0,013816	0,0149
		49,9132	49,9073	0,0059	0,015983	
55	195	50,4592	50,4535	0,0057	0,015441	0,014358
		51,2892	51,2843	0,0049	0,013274	
70	195	50,0902	50,0859	0,0043	0,011649	0,014087
		48,6702	48,6641	0,0061	0,016525	

Keterangan:

- W1 : Berat Awal
 W2 : Berat Setelah Terkorosi
 W3 : Berat Hilang (*weight loss*)
 cr : Laju Korosi
 CR : Rata-Rata Laju Korosi

G. Grafik Regresi Linear Konsentrasi vs Kelekatan Lapisan



(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis menyadari banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Handis Zuniandra selaku partner TA yang luar biasa
2. Aprilia Alif Azizah yang senantiasa mengisi, menemani dan mewarnai hari-hari penulis dengan penuh kesabaran dan dedikasi tinggi
3. Farhan, Arkan, Fachrul, Andi, Uli, Ilham, Adis, dan teman-teman Paguyuban Solo ITS lainnya yang menemani hari-hari suka dan duka perantauan penulis di Surabaya
4. Handika, Hutama, Kamal, Habib, Irfan, Nurhanif, Tatang, Hafidh, Errel, Nohan, Ghozy, dan teman-teman Kasmaji 2015 lainnya di mana pun berada yang selalu hangat menerima dan mencerikan penulis dari kepenatan kehidupan Surabaya
5. Mufid, Landung, Alya Faiha, dan Safitri selaku teman-teman tempat curhat penulis yang selalu memberi masukan luar biasa sejak jaman putih abu-abu
6. Teman-teman TFC dan MT17 yang selalu membantu dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan perkuliahan di Teknik Material FTI-ITS
7. Serta seluruh pihak-pihak lain yang mungkin penulis luput tuliskan nama-namanya disini

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Herdiadi, dilahirkan di kota Surabaya pada 4 Juli 1997 dari pasangan Heroe Joenianto dan Diah Kurnia Mirawati. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dengan kakak bernama Herdina Ramadhani dan adik bernama Muhammad Herdianto Hanindy. Penulis telah menamatkan pendidikan dasar di SDN Bromantakan 56 Surakarta, pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Surakarta dan SMA Negeri 1 Surakarta. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri.

Selama berkuliah, penulis aktif dalam mengikuti berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan dan ikatan alumni seperti di BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS, Paguyuban Solo ITS, ITS Material Advantage Chapter, dan Kasmaji Solo. Penulis juga aktif berpartisipasi dalam berbagai kepanitiaan pada event-event di kampus maupun event-event di luar kampus. Penulis juga pernah ikut serta dalam kegiatan volunteering yang diselenggarakan oleh Departemen Sosial Masyarakat HMMT FTI-ITS sebagai tenaga volunteer pengajar dalam kegiatan HMMT Mengajar.

Penulis juga aktif mengikuti berbagai pelatihan dan training yang diselenggarakan di kampus seperti pelatihan kepemimpinan, pelatihan jurnalistik, pelatihan wirausaha, pelatihan spiritual keagamaan, dan ISO Awareness Training. Penulis juga pernah menjalani program On Job Training pada bulan Juli-September 2018 di PT. Amman Mineral Nusa Tenggara pada Process Metalurgy and Technical Service Department.

Penulis dapat dihubungi melalui alamat surel mherdiadi@gmail.com.

(halaman ini sengaja dikosongkan)