



TUGAS AKHIR - TL184834

# PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU ELEKTROPLATING SENG TERHADAP KETEBALAN, KEKUATAN LEKAT, DAN KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1020

HANDIS ZUNIANDRA  
NRP. 0251154000027

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



**TUGAS AKHIR - TL184834**

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN  
WAKTU ELEKTROPLATING SENG TERHADAP  
KETEBALAN, KEKUATAN LEKAT, DAN  
KETAHANAN KOROSI BAJA AISI 1020**

HANDIS ZUNIANDRA  
NRP. 0251154000027

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 - TL184834**

**THE EFFECT OF TEMPERATURE AND TIME  
VARIATION OF ZINC ELECTROPLATING ON  
THICKNESS, ADHESION STRENGTH, AND  
CORROSION RESISTANCE OF AISI 1020 STEEL**

HANDIS ZUNIANDRA  
NRP. 0251154000027

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

DEPARTMENT OF MATERIAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Engineering  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2019

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU  
ELEKTROPLATING SENG TERHADAP KETEBALAN,  
KEKUATAN LEKAT, DAN KETAHANAN KOROSI BAJA  
AISI 1020**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**HANDIS ZUNIANDRA**  
NRP. 0251154000027

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA ..... (Pembimbing 1)
2. Vania Mitha Pratiwi, ST, MT ..... (Pembimbing 2)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU  
ELEKTROPLATING SENG TERHADAP KETEBALAN,  
KEKUATAN LEKAT, DAN KETAHANAN KOROSI BAJA  
AISI 1020**

**Nama** : Handis Zuniandra  
**NRP** : 0251154000027  
**Departemen** : Teknik Material  
**Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

**Abstrak**

*Baja AISI 1020 merupakan baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,20%. Sebelum baja diaplikasikan biasanya dilakukan pengerjaan akhir logam (metal finishing) untuk meningkatkan kualitasnya seperti sifat tahan korosi, tampak rupa, ketangguhan, daya hantar listrik, dan sifat lainnya. Salah satu cara metal finishing yaitu dengan elektroplating. Elektroplating dengan bahan pelapis seng banyak diaplikasikan karena seng merupakan pelapis baja yang tahan korosi, menghasilkan tampak permukaan yang cukup baik, serta harganya yang cukup terjangkau. Berdasarkan uraian di atas penulis menganalisa pengaruh temperatur dan waktu proses elektroplating seng terhadap ketebalan, kekuatan lekat, dan ketahanan korosi baja AISI 1020. Variasi temperatur yang digunakan yaitu 25, 30, dan 35°C. Sedangkan untuk variasi waktu yaitu 9, 12, dan 15 menit. Pengukuran ketebalan lapisan seng dilakukan menggunakan alat uji DFT, untuk mengetahui kekuatan lekat dilakukan pengujian Pull-Off, dan untuk mendapatkan nilai laju korosi dilakukan dengan pengujian immerse dan dilakukan perhitungan dengan metode weight loss. Nilai ketebalan paling tinggi sebesar 28,1333 µm dengan variasi temperatur 35°C dan waktu 15 menit. Nilai kekuatan lekat paling tinggi sebesar 15,595 MPa dengan variasi temperatur 25°C dan waktu 9 menit. Nilai laju korosi paling*

*rendah sebesar 0,0097 mmpy dengan variasi temperatur 35°C dan waktu 15 menit.*

***Kata Kunci: elektroplating, seng, baja AISI 1020, temperatur, waktu***

# THE EFFECT OF TEMPERATURE AND TIME VARIATION OF ZINC ELECTROPLATING ON THICKNESS, ADHESION STRENGTH, AND CORROSION RESISTANCE OF AISI 1020 STEEL

**Name** : Handis Zuniandra  
**NRP** : 0251154000027  
**Department** : Teknik Material  
**Supervisor** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T.

## Abstract

*AISI 1020 steel is low carbon steel with a carbon content of 0.20%. Before the steel is applied it is usually done metal finishing to improve its quality such as corrosion-resistant properties, appearance, toughness, electrical conductivity, and other properties. One way of metal finishing is by electroplating. Electroplating with zinc coating material is widely applied because zinc is a corrosion resistant steel coating, producing a fairly good surface appearance, and the price is quite affordable. Based on the description above, the influence of temperature and time of zinc electroplating process on thickness, adhesion, and corrosion resistance of AISI 1020 steel was studied. Temperature variations to be used are 25, 30, and 35°C . While for time variations are 9, 12, and 15 minutes. The measurement of the thickness of the zinc layer was carried out using a DFT test, to find out the strength of the pulling carried out Pull-Off testing, and to obtain the value of the corrosion rate carried out by immersion testing and then calculated using weight loss method. The highest thickness value is 28.1333  $\mu\text{m}$  with variation of temperature is 35°C with 15 minutes plating time. The highest adhesive strength value is 15.595 MPa with a temperature variation of 25°C and 9 minutes plating time. The lowest corrosion rate value is 0.0097 mmpy with a temperature variation of 35°C and 15 minutes plating time.*

***Keywords: electroplating, zinc, AISI 1020 steel, temperature, time***

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Elektroplating Seng terhadap Ketebalan, Kekuatan Lekat, dan Ketahanan Korosi Baja AISI 1020”**. Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dukungan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua penulis yakni Ibu Sriningsih Haryani yang selalu memberi dukungan yang tak terhingga dalam segala aspek dan Bapak Puji Rohmad.
3. Zanuar Abidin dan Isna Oktalia selaku kakak penulis yang senantiasa selalu memberikan semangat serta mendoakan.
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 utama Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta wawasan kepada penulis, dan menjadi panutan penulis.
6. Ibu Vania Mitha Pratiwi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir penulis yang telah memberikan arahan, kritik, dan saran dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Dr. Sungging Pintowantoro ST., MT. selaku dosen wali yang telah banyak memberi arahan kepada penulis

selama berkuliah di Departemen Teknik Material HMMT-FTI ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan. Semoga buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membaca.

Surabaya, 7 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Baja .....	5
2.2 Baja AISI 1020 .....	7
2.3 Pelapisan Logam .....	8
2.4 Elektroplating .....	10
2.4.1 Hukum Elektrolisis Faraday .....	13
2.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Elektroplating .....	16
2.4.3 Bahan Pelapis Elektroplating .....	24
2.5 Preparasi Spesimen sebelum Proses Elektroplating ...	26
2.5.1 <i>Surface Cleaning</i> .....	26
2.5.2 <i>Surface Modification</i> .....	28
2.5.3 <i>Rinsing</i> .....	28
2.6 Seng .....	28
2.7 Korosi .....	33
2.8 <i>State of The Art</i> .....	35
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Percobaan .....	39
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	40
3.2.1 Alat Penelitian .....	40

3.2.2 Bahan Penelitian .....	41
3.3 Prosedur Penelitian .....	41
3.3.1 Preparasi Spesimen .....	41
3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit .....	42
3.3.3 Proses Elektroplating .....	42
3.4 Pengujian SEM .....	43
3.5 Pengujian Ketebalan .....	45
3.6 Pengujian Kelekatan .....	47
3.7 Pengujian Laju Korosi .....	49
3.8 Rencana Penelitian .....	50
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pengamatan Makro .....	51
4.2 Pengamatan Mikro .....	52
4.3 Pengujian Ketebalan .....	55
4.4 Pengujian Kekuatan Lekat .....	61
4.5 Pengujian Laju Korosi .....	65
4.6 Penentuan Variasi Optimum .....	70
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	73
5.2 Saran .....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>75</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>81</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>85</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Karakteristik <i>plain carbon steel</i> .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Skema proses elektroplating .....	12
<b>Gambar 2.3</b>	Pengaruh Temperatur Larutan Elektrolit terhadap Penampakan Hasil Lapisan Elektroplating Seng (Zn) .....	19
<b>Gambar 2.4</b>	Rangkaian <i>Haring – Blum Cell</i> .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Percobaan .....	39
<b>Gambar 3.2</b>	Rangkaian Elektroplating .....	43
<b>Gambar 3.3</b>	Skema kerja SEM .....	44
<b>Gambar 3.4</b>	Alat uji SEM FEI Inspect S50 .....	45
<b>Gambar 3.5</b>	Alat uji ketebalan <i>DFT Electomer</i> .....	45
<b>Gambar 3.6</b>	Proses kalibrasi alat ukur ketebalan DFT .....	46
<b>Gambar 3.7</b>	Pengukuran Ketebalan Lapisan <i>Coating</i> Seng (Zn) Menggunakan Alat Uji Ketebalan DFT .....	47
<b>Gambar 3.8</b>	Penempelan <i>Dolly</i> pada Spesimen Uji .....	48
<b>Gambar 3.9</b>	Pengujian Kekuatan Lekat Lapisan Seng dengan Metode <i>Pull-off</i> .....	49
<b>Gambar 3.10</b>	Pengujian Laju Korosi dengan Metode <i>Immerse</i> .....	50
<b>Gambar 4.1</b>	Spesimen Uji a.) sebelum Proses Elektroplating dan b.) setelah Proses Elektroplating .....	51
<b>Gambar 4.2</b>	Pengujian SEM permukaan spesimen dengan perbesaran 5000x .....	53
<b>Gambar 4.3</b>	Pengujian SEM penampang melintang ( <i>cross section</i> ) spesimen dengan perbesaran 2500x .....	54
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik hubungan temperatur dan waktu plating terhadap nilai ketebalan lapisan .....	58
<b>Gambar 4.5</b>	Regresi Linier Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating Seng terhadap Ketebalan Lapisan Seng .....	60

<b>Gambar 4.6</b>	Hasil Pengujian <i>Pull-off</i> Lapisan Seng .....	61
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik hubungan temperatur dan waktu plating terhadap nilai kekuatan lekat .....	63
<b>Gambar 4.8</b>	Regresi Linier Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating Seng terhadap Kekuatan Lekat Lapisan Seng .....	64
<b>Gambar 4.9</b>	Pengamatan Hasil Proses Korosi .....	66
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik Hubungan Temperatur dan Waktu Plating Terhadap Nilai Laju Korosi .....	68
<b>Gambar 4.11</b>	Regresi Linier Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating Seng terhadap Kekuatan Lekat Lapisan Seng .....	69

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Komposisi Baja AISI 1020 .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Nilai Potensial Logam .....	9
<b>Tabel 2.3</b> Spesifikasi anoda terlarut .....	13
<b>Tabel 2.4</b> Tingkat ketebalan lapisan seng .....	31
<b>Tabel 2.5</b> Konstanta perhitungan laju korosi .....	35
<b>Tabel 2.6</b> Tingkatan Klasifikasi Laju Korosi Berdasarkan ISO 19244 .....	35
<b>Tabel 3.1</b> Rencana Penelitian .....	50
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Uji EDX .....	55
<b>Tabel 4.2</b> Hasil pengukuran ketebalan lapisan <i>coating</i> seng (Zn) menggunakan alat uji ketebalan DFT .....	56
<b>Tabel 4.3</b> Hasil pengujian kekuatan lekat lapisan <i>coating</i> seng (Zn) dengan metode <i>Pull-Off</i> .....	62
<b>Tabel 4.4</b> Hasil perhitungan <i>weight loss</i> .....	66
<b>Tabel 4.5</b> Hasil perhitungan laju korosi menggunakan metode <i>weight loss</i> .....	67
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Skoring Lapisan Elektroplating Seng .....	70

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dunia industri berkembang dengan begitu pesat. Berbagai macam material telah diolah dan dijadikan berbagai macam produk. Beragam metode terus dikembangkan guna meningkatkan mutu dari material-material tersebut. Material yang paling banyak dan beragam penggunaannya adalah logam (baja). Mulai dari peralatan rumah tangga, industri, peralatan kedokteran, pertanian, dan lain-lain banyak produk yang terbuat dari material baja (Wiewiorowska, 2015). Baja merupakan logam yang terbentuk dari paduan besi dan karbon yang mungkin mengandung beberapa unsur lain dimana unsur lain tersebut sangat beragam (Callister, 2014). Baja karbon rendah merupakan baja yang memiliki kadar karbon (%C) kurang dari 0,3%. Baja jenis ini lebih banyak digunakan dikarenakan baja karbon rendah memiliki keuletan yang tinggi dan juga mudah untuk *dimachining*, akan tetapi kekerasannya rendah dan juga tidak tahan aus (Gandy, 2017). Baja AISI 1020 termasuk dalam kategori baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar 0,20%. Baja jenis ini sering digunakan sebagai bahan pembuatan pipa untuk fluida bertekanan rendah dan menengah, pipa ketel, dan juga untuk pipa pengalir uap panas yang biasa digunakan pada sistem pembangkit listrik (Verhoeven, 2017).

Pada proses pengaplikasiannya, umumnya baja membutuhkan proses pengerjaan akhir logam (*metal finishing*) untuk meningkatkan kualitasnya seperti sifat tahan korosi, tampak rupa, ketangguhan, daya hantar listrik, dan sifat lainnya. Salah satu cara *metal finishing* yaitu pelapisan logam. Cara ini dilakukan dengan melapisi logam dengan material lain dengan berbagai metode seperti dengan menggunakan listrik (*electroplating*), celup panas (*hot dip*), dan juga dengan penyemprotan (*metal spraying*) (Ndariyono, 2011). Pada tahun 2016 Kadhim Alsultani melakukan penelitian tentang pengaruh variasi waktu terhadap ketebalan

lapisan seng dengan metode elektroplating. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu elektroplating ketebalan lapisan seng yang dihasilkan meningkat. Pada tahun 2015 Hong-Bok Choe melakukan penelitian tentang pengaruh penyemprotan logam seng terhadap sifat ketahanan korosi dari suatu baja. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa baja yang telah dilapisi seng dengan cara penyemprotan memiliki sifat ketahanan korosi yang lebih baik. Pada tahun 2010 Adetunji melakukan penelitian tentang pengaruh pelapisan seng dengan metode celup panas terhadap sifat ketahanan korosi pada sebuah baja. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa baja yang telah dilapisi seng dengan cara hot dip memiliki ketahanan korosi yang lebih baik.

Pelapisan dengan cara elektroplating lebih banyak disukai karena memiliki beberapa kelebihan seperti lapisan yang lebih merata, serta memiliki daya rekat dan tampak permukaan yang lebih baik. Elektroplating dapat dilakukan untuk melapisi logam dengan berbagai jenis logam lain seperti tembaga, nikel, seng, timah, krom dan yang lainnya. Dari berbagai jenis logam pelapis seng memiliki beberapa kelebihan. Seng merupakan pelapis baja yang tahan korosi, menghasilkan tampak permukaan yang cukup baik, serta harganya yang cukup terjangkau (Clifford, 2011). Prosedur pelapisan seng secara elektroplating umumnya mengacu pada manual teknis 290 *Bright Acid Zinc Plating Process* keluaran Atotech Canada Ltd. Dalam penelitian ini dilakukan analisa pengaruh temperatur dan waktu plating terhadap ketebalan, daya lekat, dan ketahanan korosi dari lapisan seng yang terbentuk pada baja AISI 1020 dari proses elektroplating tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh variasi temperatur larutan elektrolit pada proses elektroplating terhadap ketebalan, daya lekat, dan ketahanan korosi hasil lapisan elektroplating seng (Zn) pada baja AISI 1020 ?

2. Bagaimanakah pengaruh variasi waktu proses elektroplating terhadap ketebalan, daya lekat, dan ketahanan korosi hasil lapisan elektroplating seng (Zn) pada baja AISI 1020 ?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terfokus, maka ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi larutan elektrolit dianggap tetap.
2. Jarak anoda dan katoda dianggap tetap.
3. Tegangan dari *rectifier* selama proses elektroplating dianggap tetap.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur larutan elektrolit pada proses elektroplating terhadap ketebalan, daya lekat, dan ketahanan korosi hasil lapisan elektroplating seng (Zn) pada baja AISI 1020.
2. Menganalisa pengaruh variasi waktu proses elektroplating terhadap ketebalan, daya lekat, dan ketahanan korosi hasil lapisan elektroplating seng (Zn) pada baja AISI 1020.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil dari tugas akhir yang dilakukan ini bisa membantu dalam perkembangan dunia industri dan dunia pendidikan terutama dalam bidang pelapisan logam. Selain itu hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu industri agar bisa mengaplikasikan temperatur dan waktu pada proses elektroplating seng lebih optimum sehingga menjadi lebih efisien.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Baja**

Baja adalah sebuah logam paduan yang tersusun dari besi dan karbon. Besi berperan sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Unsur karbon dalam baja berfungsi sebagai penguat dengan mencegah dislokasi terjadi pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu *plain carbon steel* dan *alloy steel*. *Plain carbon steel* merupakan jenis baja yang tidak memiliki unsur paduan lain di dalamnya. Pada *plain carbon steel* hanya terbentuk dari paduan besi dan karbon saja. Sedangkan *alloy steel* merupakan baja yang memiliki unsur paduan lain selain karbon seperti khrom (Cr), nikel (Ni), tungsten (W), molibdenum (Mo), dan vanadium (V). Terdapatnya unsur-unsur tersebut dalam baja memberikan sifat-sifat yang berbeda pula pada baja.

Selain besi dan karbon terdapat empat unsur yang selalu ada dalam baja. Keempat unsur tersebut adalah sulfur (S), fosfor (P), mangan (Mn), dan silikon (Si). Hal tersebut berarti dalam baja jenis *plain carbon steel* sekalipun tetap terdapat unsur-unsur lain selain karbon. Akan tetapi keempat unsur tersebut terdapat dalam baja dengan kadar yang rendah dan kurang mempengaruhi sifat dari baja. Yang memberikan perbedaan sifat dari *plain carbon steel* adalah kadar karbonnya. Berdasarkan kadar karbonnya baja jenis *plain carbon steel* dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu :

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah atau juga disebut *low carbon steel* merupakan baja dengan kadar karbon kurang dari 0,3%. Baja ini memiliki kekuatan yang relatif rendah, lunak, tetapi keuletannya tinggi. Baja ini mudah untuk dibentuk dan *dimachining* akan tetapi tidak dapat dikeraskan. Penggunaan baja karbon rendah sangat beragam seperti baja konstruksi umum, baja tulangan

---

beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan masih banyak lagi.

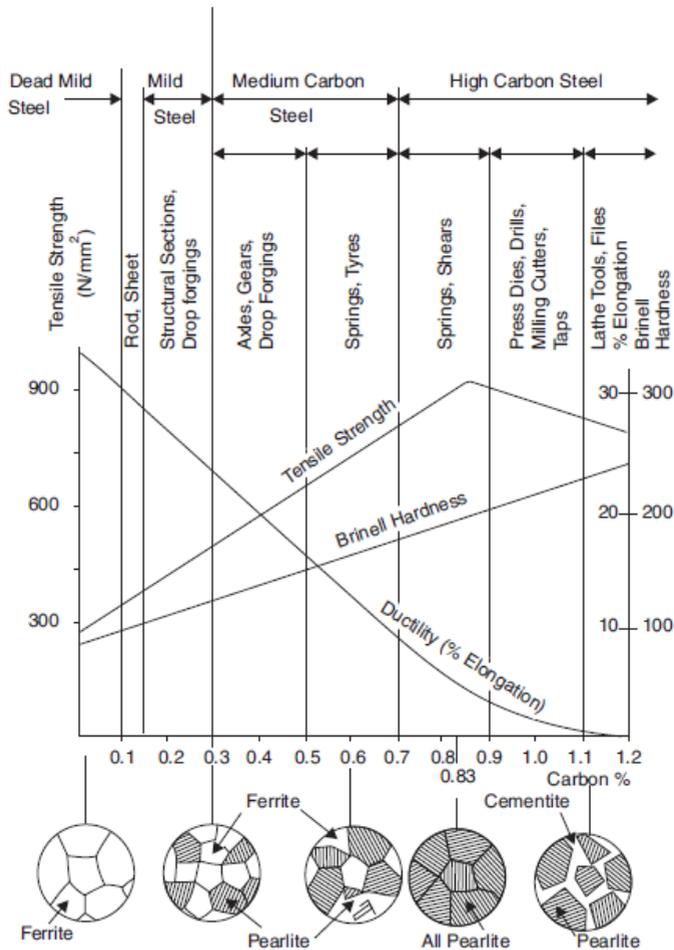
2. Baja Karbon Menengah

Baja karbon menengah disebut juga medium carbon steel, memiliki kadar karbon dalam rentang 0,3% hingga 0,6%. Baja jenis ini lebih kuat dan keras dibanding dengan baja karbon rendah dan baja ini dapat dikeraskan. Baja karbon menengah digunakan untuk komponen yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi seperti baja konstruksi mesin, poros, roda gigi, dan lain-lain.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi atau disebut juga dengan *high carbon steel* memiliki kadar karbon lebih dari 0,6%. Baja ini memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi dari baja karbon rendah dan menengah akan tetapi baja ini memiliki keuletan dan ketangguhan yang rendah. Baja ini biasanya digunakan sebagai bahan pembuatan perkakas yang memerlukan sifat tahan aus seperti mata bor, palu, dan perkakas tangan lainnya (Gupta, 2009).

Dari masing-masing jenis baja tersebut memiliki struktur mikro, sifat mekanik, dan penggunaan yang berbeda-beda. Perbedaan dari karakteristik baja karbon rendah, baja karbon menengah, dan baja karbon tinggi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Karakteristik *Plain Carbon Steel* (Gupta,2009)

## 2.2 Baja AISI 1020

Baja AISI 1020 merupakan sebuah *plain carbon steel* dengan kandungan karbon sebesar 0,20%. Baja ini termasuk dalam kategori baja karbon rendah yang memiliki *hardenability* dan *tensile* yang rendah dengan kekerasan Brinell antara 119 hingga

235 dan kekuatan tarik antara 410 hingga 790 Mpa. Baja ini memiliki *machinability*, kekuatan, keuletan, dan *weldability* yang tinggi. Komposisi dari baja AISI 1020 dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Komposisi Baja AISI 1020 (Verhoeven, 2017S)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Fe
0,20	0,22	0,66	0,055	0,18	0,015	0,028	98,642
%	%	%	%	%	%	%	%

Baja AISI 1020 ini biasanya diaplikasikan untuk pembuatan pipa untuk fluida bertekanan rendah dan menengah, pipa ketel, dan juga untuk pipa pengalir uap panas yang biasa digunakan pada sistem pembangkit listrik. Dalam jangka penggunaan yang cukup lama baja ini dapat mengalami degradasi dan juga kerusakan yang disebabkan oleh korosi (Rakhit, 2013).

### 2.3 Pelapisan Logam

Pelapisan merupakan sebuah proses menutup atau melapisi suatu permukaan benda yang biasa disebut dengan substrat. Tujuan dari proses pelapisan ini adalah meningkatkan nilai kualitas beberapa aspek dari substrat seperti secara tampak visual, sifat ketahanan korosi, sifat ketahanan aus, dan yang lainnya. Pelapisan dilakukan dengan cara melapiskan bahan pelapis yang nantinya dapat membentuk sebuah lapisan tipis pada permukaan substrat. Bahan baku pelapis dapat berasal dari berbagai macam jenis seperti logam ataupun non logam, organi maupun anorganik, dan dapat berasal dari benda padat, cair, ataupun gas (Kumar, 2015). Pelapisan logam yang bertujuan untuk perlindungan korosi dalam pemilihan bahan pelapis harus memperhatikan nilai potensialnya. Nilai potensial dari logam pelapis harus lebih kecil dari potensial logam yang akan dilapisi. Nilai potensial dari berbagai macam logam ditunjukkan pada Tabel 2.2

**Tabel 2.2** Nilai Potensial Logam (Silbeberg, 2014)

Reaksi Reduksi	Logam	E <sup>0</sup> (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 <sub>2</sub>	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

Pelapisan logam banyak diterapkan untuk proses finishing pada logam. Pelapisan logam ini dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti celup panas (*hot dip*), semprot logam (*metal spraying*), dan secara listrik (*electroplating*).

---

Pelapisan secara celup panas (*hot dip*) dilakukan dengan mencelupkan logam yang ingin dilapisi kedalam logam pelapis yang sudah berbentuk cair. Awalnya logam yang digunakan sebagai bahan baku pelapis dipanaskan hingga mencapai titik lelehnya. Setelah mencapai titik lelehnya logam dibiarkan mencair se seluruhnya yang mana lelehan tersebut nantinya akan digunakan untuk proses pelapisan logam. Dalam pelapisan dengan menggunakan metode ini titik leleh dari logam pelapis dan logam yang akan dilapisi harus sangat diperhatikan. Titik leleh dari logam yang akan dilapisi harus lebih tinggi dibandingkan dengan titik leleh dari logam pelapis (Adetunji, 2010).

*Metal spraying* atau disebut juga penyemprotan logam adalah proses untuk menutupi permukaan material dengan lapisan logam menggunakan semprotan partikel cair. Logam yang digunakan sebagai pelapis dilelehkan terlebih dahulu. Setelah itu dengan menggunakan gas bertekanan tinggi lelehan logam tersebut disemprotkan ke material yang akan dilapisi sehingga cairan logam tersebut akan terhambur pada permukaan material yang akan dilapisi dan membentuk lapisan. Dalam metode ini titik leleh dari material yang akan dilapisi harus lebih tinggi dari titik leleh logam pelapis (Choe, 2015).

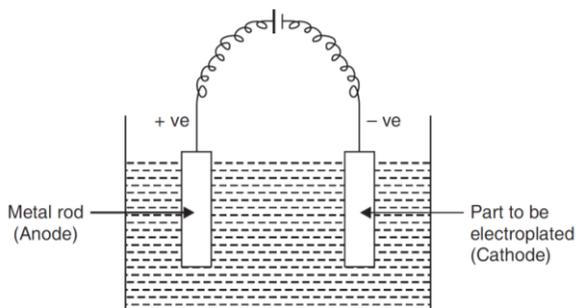
Sedangkan pelapisan dengan cara elektroplating dilakukan dengan mengendapkan ion-ion logam pelapis pada permukaan logam yang akan dilapisi dengan menggunakan listrik dalam suatu wadah yang berisi larutan elektrolit (Cornaglia, 2017)

## **2.4 Elektroplating**

Elektrokimia adalah ilmu kimia yang mempelajari tentang perpindahan elektron pada suatu elektroda. Elektroda sendiri merupakan suatu media penghantar listrik yang terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Sel elektrokimia terdiri dari sel volta dan sel elektrolisis, dimana sel volta merupakan sel elektrokimia yang menghasilkan listrik dari reaksi kimia yang berlangsung spontan, sedangkan sel elektrolisis merupakan sel

elektrokimia yang menggunakan listrik untuk menghasilkan suatu reaksi kimia (Harahap, 2016).

Elektroplating merupakan salah satu aplikasi dari sel elektrolisis. Elektroplating atau yang sering disebut juga dengan electrodeposisi adalah suatu proses reduksi kation logam yang diinginkan dalam suatu larutan dan menghasilkan lapisan tipis dari logam tersebut pada sebuah substrat. Dalam prosesnya elektroplating membutuhkan arus listrik searah (Easton, 2013). Pembentukan lapisan pada elektroplating ini bertujuan untuk melindungi substrat dari beberapa kerusakan seperti korosi dan goresan. Selain itu proses elektroplating ini juga dapat meningkatkan nilai visual dari substrat (Goyal, 2012). Elektroplating merupakan suatu teknik pelapisan logam dimana ion-ion dari logam pelindung (anoda) akan mengendap pada permukaan logam yang akan dilindungi (katoda). Elektroplating dilakukan pada suatu wadah yang berisikan larutan penghantar listrik (elektrolit). Dua buah elektroda dihubungkan dengan sumber listrik searah dan dimasukkan dalam wadah tersebut. Anoda dihubungkan dengan arus positif dan katoda dihubungkan dengan arus negatif. Ketika anoda dan katoda dihubungkan dengan listrik dan dimasukkan dalam elektrolit, ion-ion positif dari anoda akan ditarik menuju katoda dan menghasilkan endapan pada permukaan katoda (Basmal, 2012). Skema proses elektroplating ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Skema Proses Elektroplating (Gupta, 2009)

---

Sebuah rangkaian elektroplating tersusun atas komponen-komponen berikut :

1. *Rectifier*

Dalam proses elektroplating dibutuhkan arus listrik yang berfungsi untuk memindahkan, menarik ion-ion positif dari anoda. Arus listrik yang digunakan yaitu arus listrik searah atau juga biasa disebut DC (*direct current*). Dalam hal ini *rectifier* berfungsi sebagai sumber arus searah yang nantinya tegangan dan arusnya dapat divariasikan (Gupta, 2009).

2. Larutan Elektrolit

Elektrolit merupakan suatu larutan yang mengandung ion-ion sehingga dapat menghantarkan arus listrik (Sutomo, 2010). Larutan elektrolit yang digunakan pada pelapisan seng terdapat dua macam yaitu larutan asam dan larutan sianida. Elektrolit dari larutan sianida memberikan hasil permukaan lapisan yang lebih baik, namun elektrolit dari larutan asam memberikan kecepatan pelapisan yang lebih tinggi, lebih tidak berbahaya, dan lebih terjangkau (Prakosa, 2016).

3. Anoda

Anoda merupakan material yang dihubungkan dengan kutub positif dari *rectifier*. Dalam prinsip kerjanya anoda terdapat dua macam yaitu anoda yang larut dan anoda yang tidak larut. Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus saja yang biasanya terbuat dari material inert seperti grafit, sedangkan anoda yang larut berfungsi sebagai bahan pelapis. Dalam pemilihan bahan sebagai anoda tingkat kemurnian dari anoda harus diperhatikan. Unsur-unsur lain yang terkandung dalam anoda merupakan penyebab atau sumber utama terbentuknya endapan unsur pengotor pada hasil lapisan. Spesifikasi kemurnian anoda yang disarankan ditunjukkan oleh Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Spesifikasi Anoda Terlarut (Gupta, 2009)

No	Anoda	Kemurnian (%)	Unsur-unsur Pengotor
1	Cadmium	99,95	Ag, As, Cu, Fe, Pb, Sb, Ti, Zn
2	Copper	99,97	Ag, Cd
3	Lead	99,92	Ag, Cu, Cd, Zn
4	Nickel	99,98	Ag, Cu, Cd, Zn, Fe, Pb, Sn, Zn
5	Tin	99,92	Ag, Cu, Cd, Fe, Pb, As, Bi, S, Sb
6	Tin-Lead	99,93	Ag, As, Bi, Cu, Fe, S, Pb, Sb, Zn
7	Silver	99,95	Bi, Fe, Si, S, Sn, Fe, Zn
8	Zinc	99,98	Cu, Cd, Pb, Sn

#### 4. Katoda

Katoda merupakan benda kerja yang akan dilapisi yang selama prosesnya dihubungkan dengan kutub negatif dari rectifier. Katoda ini harus bersifat konduktor supaya proses elektroplating dapat berlangsung sehingga logam pelapis dapat menempel pada katoda (Gupta, 2009).

Dalam dunia industri elektroplating digunakan sebagai proses pengerjaan akhir (*metal finishing*). Berbagai macam logam yang digunakan sebagai bahan pelapis logam diantaranya yaitu seng, perak, emas, brass, tembaga, nikel, dan juga krom. Penggunaan berbagai logam tersebut disesuaikan dengan kebutuhan dan juga kegunaan dari material yang akan dilapisi. Proses elektroplating ini digunakan untuk meningkatkan kualitas dari material yang akan dilapisi seperti meningkatkan ketahanan terhadap korosi, meningkatkan konduktivitas listrik, meningkatkan kekerasan, dan juga membuat permukaannya tampak lebih menarik (Prakosa, 2016).

##### 2.4.1 Hukum Elektrolisis Faraday

Hukum Faraday dikembangkan oleh Michael Faraday pada tahun 1833. Hukum pertama dan kedua Faraday menyatakan :

1. Jumlah zat (unsur-unsur) yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit.
2. Jumlah zat yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut.

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 dengan perhitungan seperti Persamaan 2.1

$$F = e \cdot N_a \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$N_a = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Sedangkan muatan total yang digunakan dalam deposisi dapat dicari sebagai produk arus (I) dan waktu deposisi (t) dengan arus deposisi yang dipertahankan konstan. Jika selama proses deposisi arusnya bervariasi total muatan dapat dicari dengan Persamaan 2.2

$$Q = \int I dt \dots\dots\dots(2.2)$$

Berat deposit yang dihasilkan, W(g), dapat dicari dengan cara mengalikan mol logam yang tereduksi dengan berat atomik, Mw, dari logam yang terdeposit seperti pada Persamaan 2.3

$$W = \frac{M_w}{nF} \int I dt \dots\dots\dots(2.3)$$

Untuk mencari ketebalan deposit yang dihasilkan,  $\delta$  (cm) dapat dilakukan dengan perhitungan seperti Persamaan 2.4 :

$$\delta = \frac{W}{\rho A} = \frac{M_w}{nF \rho A} \int I dt \dots\dots\dots(2.4)$$

Rumus di atas digunakan dengan  $\rho$  sebagai densitas ( $\text{g/cm}^3$ ) dan A adalah luas area deposisi ( $\text{cm}^2$ ) (Huang, 2016).

Dalam proses elektroplating terdapat efisiensi plating. Efisiensi plating dapat dinyatakan sebagai efisiensi arus anoda maupun katoda. Efisiensi katoda merupakan perbandingan antara arus yang digunakan untuk proses pengendapan dengan total arus yang masuk. Dalam prosesnya arus yang tidak terpakai untuk proses pengendapan pada katoda digunakan untuk penguraian air membentuk gas hidrogen, hilang menjadi panas, atau digunakan untuk pengendapan logam lain yang nantinya menjadi impuritas pada hasil plating. Sedangkan efisiensi anoda merupakan perbandingan antara jumlah logam anoda yang terlarut dalam elektrolit dengan jumlah logam anoda yang dapat terlarut secara teoritis sesuai dengan Hukum Faraday. Proses elektroplating dengan anoda aktif dapat dikatakan baik apabila efisiensi anoda sama dengan efisiensi katoda karena berarti reaksi berjalan seimbang sehingga konsentrasi elektrolitnya akan tetap (Siregar, 2010).

Dalam penentuan efisiensi elektroplating lebih sering dilakukan perhitungan dengan menggunakan prinsip efisiensi katoda. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui apakah semua arus yang masuk digunakan untuk mengendapkan ion logam pada katoda sehingga didapat efisiensi 100% atau lebih kecil. Rendahnya nilai efisiensi katoda dapat disebabkan karena kebocoran listrik, larutan yang tidak homogen, dan terjadinya

elektrolisis air. Efisiensi katoda dapat diketahui dengan Persamaan 2.5

$$\eta = \frac{W'}{W} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

$\eta$  = efisiensi

$W'$  = berat endapan pada katoda

$W$  = berat teoritis endapan pada katoda berdasarkan Hukum Faraday

(Huang, 2016)

#### 2.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Elektroplating

Pada proses elektroplating hasil lapisan yang dihasilkan tidak selalu sama. Hasil lapisan elektroplating dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah :

##### 1. Arus Listrik

Pada proses elektroplating rapat arus sangat berpengaruh karena nantinya akan mempengaruhi efisiensi arus. Rapat arus merupakan jumlah arus listrik yang mengalir persatuan luas pada permukaan elektroda. Rapat arus terbagi menjadi dua yaitu rapat arus anoda dan rapat arus katoda. Dalam proses elektroplating yang diperhitungkan adalah rapat arus katoda karena nantinya permukaan katoda yang akan mengalami pelapisan. Dalam proses pembentukan lapisan pada katoda, keseragaman hasil lapisan bergantung pada persebaran arus listrik pada katoda. Ion-ion logam akan ditarik oleh katoda di daerah yang mengandung arus listrik. Pada proses elektroplating rapat arus pada katoda bisa berbeda dari titik satu ke titik yang lainnya. Arus listrik cenderung berkumpul pada bagian tepi katoda sehingga arus bagian tengah akan lebih lemah. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya cacat yang cenderung terjadi di bagian tengah katoda. Cacat yang terjadi berupa diskontinuitas seperti terbentuknya pori, retakan dan yang lainnya.

---

Dalam proses elektroplating rapat arus harus diberikan pada rentang yang tepat dengan mempertimbangkan komposisi dan temperatur larutan elektrolit. Arus listrik yang terlalu rendah dapat meningkatkan unsur pengotor pada hasil lapisan. Unsur pengotor ini dapat terbentuk karena saat rapat arus yang diberikan terlalu rendah maka akan terjadi pelepasan ion hidrogen sehingga pH disekitar katoda akan meningkat dan menyebabkan ion logam hidroksida akan ikut mengendap pada katoda sebagai unsur pengotor.

Untuk menentukan rapat arus yang optimal harus mempertimbangkan komposisi larutan elektrolit, kondisi operasi, dan juga jenis pelapisan yang akan dilakukan. Selain itu rapat arus pada anoda juga harus dikontrol dengan baik. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menyesuaikan luas total katoda dengan jumlah anoda yang akan diendapkan (Kumar, 2015).

## 2. Konsentrasi Larutan Elektrolit

Dalam proses elektroplating, konsentrasi larutan memiliki peran penting terhadap hasil lapisan. Peningkatan konsentrasi larutan elektrolit akan meningkatkan konsentrasi ion logam dalam larutan tersebut. Oleh karena itu meningkatkan konsentrasi larutan elektrolit dapat meningkatkan laju pengendapan (Kumar, 2015).

Konsentrasi dari larutan elektrolit nantinya akan mempengaruhi pH dari elektrolit itu sendiri (Ndariyono, 2011). Dalam proses elektroplating pH memiliki pengaruh tinggi terhadap hasil lapisan. Semakin asam larutan elektrolit maka ion hidrogennya akan semakin banyak dan daya hantar arusnya akan meningkatkan sehingga lapisan yang terbentuk akan semakin tebal, akan tetapi jika elektrolit terlalu asam yang berarti konsentrasi ion hidrogennya sangat tinggi maka akan mengurangi

---

konsentrasi dari ion pelapisnya sehingga lapisan yang terbentukpun akan semakin tipis (Andinata, 2012).

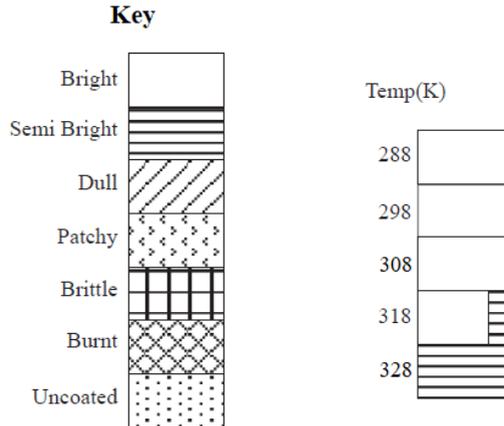
### 3. Temperatur

Pada proses elektroplating temperatur memiliki peranan yang cukup penting karena temperatur akan mempengaruhi lahu reaksi. Semakin tinggi temperatur lapisan yang terbentuk akan semakin tebal namun jika terlalu tinggi maka hasil lapisan akan menjadi kasar (Ridlwani, 2016). Seiring dengan naiknya temperatur energi kinetik molekul-molekul reaktan akan bertambah. Laju reaksi menjadi dua kali lebih cepat setiap kenaikan temperatur 10°C sehingga waktu reaksi akan menjadi setengah kali dari semula (Suarsa, 2017).

Pada temperatur yang lebih rendah kereaktifan partikel-partikel akan semakin menurun yang nantinya akan menyebabkan menurunnya konduktivitas dan laju deposisi. Konduktivitas dan viskositas memiliki hubungan saling berkebalikan. Dengan meningkatkan temperatur larutan elektrolit akan menyebabkan meningkatnya kelarutan yang nantinya akan meningkatkan konduktivitas dari larutan elektrolit tersebut. Konduktivitas elektrolit yang semakin tinggi akan meningkatkan transportasi ion yang nantinya dapat meningkatkan laju deposisi (Yu, 2013). Dengan meningkatkan temperatur larutan elektrolit akan menyebabkan turunnya viskositas dari larutan itu sendiri yang akan menyebabkan pergerakan larutan menjadi semakin cepat. Tingginya temperatur larutan elektrolit dapat mengurangi penyerapan hidrogen pada lapisan sehingga dapat mengurangi tekanan dan kecenderungan terbentuknya retakan (Kumar, 2015).

Temperatur larutan elektrolit juga mempengaruhi hasil penampakan lapisan yang dihasilkan. Pengaruh

temperatur terhadap hasil penampakan lapisan seng yang dihasilkan ditunjukkan oleh Gambar 2.3



**Gambar 2.3** Pengaruh Temperatur Larutan Elektrolit terhadap Penampakan Hasil Lapisan Elektroplating Seng (Zn) (Arthoba, 2011)

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa proses elektroplating seng dengan temperatur elektrolit pada rentang 288 hingga 308 K menghasilkan warna lapisan yang cerah atau dalam tingkatan *bright*. Ketika temperatur elektrolit dinaikkan menjadi 318 K sebagian hasil lapisan yang dihasilkan kecerahannya mulai menurun dan ketika temperatur elektrolit dinaikkan lagi hingga 328 K akan menghasilkan lapisan yang semi cerah atau masuk dalam tingkatan *semi bright* (Arthoba, 2011).

Temperatur juga mempengaruhi rapat arus yang dihasilkan. Besar rapat arus dari ion-ion yang berada dalam larutan elektrolit dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini

$$J_p = k T \mu_p \frac{dP}{dx} - Pq\mu_p \frac{dV_m}{dx} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$J_n = k T \mu_n \frac{dN}{dx} - Nq\mu_n \frac{dV_m}{dx} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- $J_p$  = rapat arus internal ion positif
- $J_n$  = rapat arus internal ion negatif
- $k$  = konstanta Boltzman
- $T$  = temperatur
- $\mu_p$  = mobilitas ion positif
- $\mu_n$  = mobilitas ion negatif
- $P$  = konsentrasi ion positif
- $N$  = konsentrasi ion negatif
- $V_m$  = beda potensial

Dari Persamaan 2.6 dan 2.7 dapat dilihat bahwa temperatur berbanding lurus dengan rapat arus internal yang dihasilkan, sehingga semakin tinggi temperatur larutan elektrolit maka rapat arus internal juga akan semakin besar (Roza, 2013).

#### 4. Waktu Pelapisan

Waktu pelapisan akan mempengaruhi hasil lapisan pada elektroplating. Waktu pelapisan berpengaruh terhadap kuantitas dari hasil lapisan yang terbentuk pada permukaan logam yang akan dilapisi (Ndariyono, 2011). Semakin lama waktu pelapisan maka deposit lapisan logam yang terbentuk pada permukaan katoda akan semakin bertambah (Ridlwani, 2016).

Ketebalan lapisan akan meningkat seiring dengan naiknya waktu dan arus pelapisan. Menurut hukum Faraday jumlah muatan ( $Q$ ) akan sebanding dengan arus ( $I$ ) dan juga waktu ( $t$ ) pelapisan sesuai dengan Persamaan 2.8

$$Q = I x t \dots\dots\dots(2.8)$$

Semakin lama waktu yang digunakan pada proses elektroplating akan menghasilkan berat deposit yang lebih banyak sesuai dengan Persamaan 2.9

$$B = I \cdot t \cdot eF \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

B = berat zat yang terbentuk (gram)

I = kuat arus yang mengalir (ampere)

t = waktu (s)

e = berat ekivalen yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi valensi unsur tersebut)

F = jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekivalen suatu zat (  $1 F = 96500 C$  )

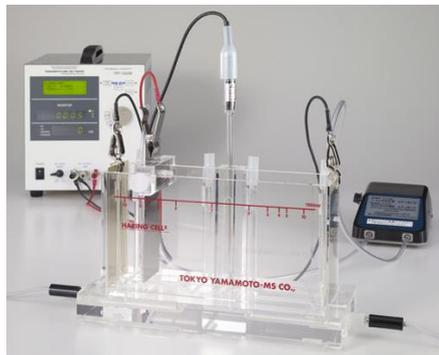
Rumus diatas menjelaskan apabila waktu yang digunakan semakin lama maka berat deposit yang dihasilkan akan bertambah, dan sebaliknya, bila waktu yang digunakan semakin cepat maka juga akan mengecil. Berat lapisan berhubungan erat dengan tebal lapisan, sebab semakin berat lapisan berarti semakin tebal lapisannya. Waktu pelapisan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada proses elektroplating. Hal ini berpengaruh pada ketebalan lapisan yang diharapkan (Paunovic, 2010)

#### 5. *Throwing Power*

*Throwing power* adalah kemampuan larutan elektrolit untuk melapisi logam dengan jarak, bentuk elektroda, dan arus yang bervariasi. Semakin tinggi *throwing power* yang dimiliki oleh suatu larutan elektrolit maka lapisan yang dihasilkan akan menjadi lebih merata. *Throwing power* menyatakan seberapa banyaknya ion logam yang dapat didepositkan pada sebuah substrat. Sebuah larutan elektrolit yang menghasilkan perbedaan ketebalan hasil lapisan dalam rentang yang cukup jauh saat

diaplikasikan dalam rapat arus tinggi dan rendah berarti memiliki nilai *throwing power* yang rendah, sedangkan larutan elektrolit yang menghasilkan sedikit perbedaan ketebalan lapisan saat diaplikasikan pada rapat arus tinggi dan rendah berarti memiliki nilai *throwing power* yang tinggi.

Untuk mengetahui *throwing power* dari sebuah larutan elektrolit dapat digunakan metode *Haring – Blum Cell*. Metode ini menggunakan sebuah bak berisi larutan elektrolit yang akan diuji yang telah dipasang dengan sebuah katoda pada dua sisi dalamnya. Sebuah anoda dipasang di antara kedua buah katoda tersebut dengan perbandingan jarak dari anoda ke katoda satu dengan yang lainnya sebesar 1:5. Rangkaian dari *Haring – Blum Cell* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.4** Rangkaian *Haring – Blum Cell* (Clifford, 2011)

*Throwing power* dari larutan elektrolit tersebut diukur dengan melihat ketebalan lapisan yang dihasilkan pada kedua katoda. Jika perbedaan ketebalan lapisan yang dihasilkan pada kedua buah katoda kecil maka larutan elektrolit tersebut memiliki *throwing power* yang tinggi, namun jika perbedaan hasil lapisan pada kedua buah

---

katoda tersebut besar maka larutan elektrolit tersebut memiliki *throwing power* yang rendah (Clifford, 2011).

## 6. Agitasi

Agitasi adalah proses pengadukan larutan untuk menghomogenkan zat pelarut dan terlarut. Agitasi menjadikan pencampuran ion-ion yang lebih merata sehingga keseluruhan komposisi larutan dapat bereaksi satu sama lain. Agitasi pada larutan elektrolit membantu menyediakan kembali ion logam yang telah tereduksi disekitar katoda sehingga dapat mengurangi gelembung udara yang dapat memicu terbentuknya lubang pada hasil lapisan. Agitasi membantu meningkatkan rapat arus operasi sehingga rapat arus yang lebih tinggi dapat digunakan. Beberapa faktor tersebut mempengaruhi struktur dari endapa ion logam dan juga meningkatkan konsentrasi ion logam karena ion logam yang hilang karena proses reduksi dan menempel pada katoda akan cepat tergantikan oleh ion logam yang lain.

Dalam proses elektroplating agitasi juga dapat menyebabkan terjadinya pembentukan lapisan butiran kasar pada katoda yang disebabkan masuknya unsur pengotor pada lapisan yang dihasilkan. Untuk mengurangi pembentukan butiran kasar yang disebabkan oleh pengotor dari larutan elektrolit biasanya dilakukan proses penyaringan. Intensitas dari agitasi harus dikondisikan sebaik mungkin dengan mempertimbangkan rapat arus dan variabel lainnya.

Secara umum proses agitasi dapat meningkatkan kinerja pelapisan karena proses agitasi sangat membantu dalam proses pencampuran sehingga ion-ion yang terdapat pada larutan elektrolit lebih merata. Akan tetapi dalam aplikasinya, selama proses agitasi juga harus mempertimbangkan variabel yang lain dan mengontrolnya dengan teliti (Paunovic, 2010).

---

## 7. Jarak Anoda dan Katoda

Jarak katoda anoda akan mempengaruhi sedikit banyaknya ketebalan lapisan. Hal ini dikarenakan oleh terjadinya oksidasi pada anoda dan reduksi pada katoda semakin cepat jika jarak antara keduanya semakin dekat. Jarak yang terlalu jauh akan menerima distribusi ion yang lebih kecil dibandingkan dengan yang jaraknya berdekatan. Distribusi ion yang tidak merata akan menghasilkan tebal lapisan yang tidak merata pula. Bahkan jika jarak keduanya terlalu dekat, akan terjadi gelembung-gelembung udara yang akan mengganggu proses elektroplating, yang penyebabnya adalah perbedaan potensial terlalu tinggi. Sehingga hasilnya permukaan lapisan bisa terbakar atau lapisan yang dihasilkan sangat tipis sebab pengendapan terhalang oleh gelembung-gelembung gas hidrogen ( $H_2$ ) (Ridlwan,2016).

Jarak anoda-katoda sangat berpengaruh terhadap hasil ketebalan pelapisan, hal ini disebabkan karena semakin pendek jarak antara elektroda katoda dan anoda maka hasil pelapisan yang terbentuk semakin besar sehingga daya ikat molekul katoda atau molekul dari substratnya dengan logam pelapis semakin kuat, sedangkan semakin jarak elektroda antara anoda dan katoda semakin besar maka hasil pelapisan yang terbentuk semakin tipis sehingga daya ikat molekul antara logam substrat dengan logam pelapis semakin rendah, dan ini akan menyebabkan daya lekat antara pelapis dengan substrat juga akan kurang (Davis, JR.2011).

### 2.4.3 Bahan Pelapis Elektroplating

Dalam proses pelapisan menggunakan elektroplating terdapat berbagai macam jenis bahan pelapis yang dapat digunakan. Bahan pelapis yang banyak digunakan di antaranya adalah sebagai berikut :

---

1. Nikel

Nikel sudah banyak digunakan sebagai bahan untuk pelapisan logam karena memiliki sifat tahan korosi, kekuatan, kekerasan, dan daya hantar listrik yang baik. Selain itu lapisan yang dihasilkan oleh nikel memiliki hasil lapisan yang mengkilap sehingga nikel sering digunakan sebagai bahan pelapis untuk tujuan dekoratif. Dalam dunia industri jenis nikel hitam juga digunakan sebagai bahan pelapis yang biasanya diaplikasikan untuk melapisi senapan.

2. Krom

Dalam proses elektroplating menggunakan bahan pelapis krom anoda yang digunakan adalah anoda yang tidak larut sehingga ion-ion logam krom yang digunakan sebagai pelapis berasal dari larutan elektrolit saja. Krom menghasilkan lapisan yang berwarna putih kebiruan dan memiliki sifat kekerasan dan tahan terhadap efek kesusaman yang tinggi. Dalam penggunaannya lapisan krom banyak diaplikasikan pada komponen-komponen mesin.

3. Seng

Seng banyak digunakan sebagai bahan pelapis karena memiliki sifat ketahanan korosi yang tinggi dan memiliki tampak permukaan yang cukup baik. Selain itu harganya yang lebih murah menjadikan seng banyak diaplikasikan untuk melapisi berbagai macam barang.

4. Timah

Timah yang sering digunakan sebagai bahan pelapis adalah jenis timah putih. Timah putih dapat menghasilkan lapisan yang mengkilap dan biasa digunakan untuk melapisi kaleng-kaleng makanan ataupun minuman.

5. Tembaga

Tembaga banyak digunakan karena memiliki sifat hantaran listrik dan panas yang baik. Dalam teknologi

---

pelapisan tembaga ini banyak digunakan sebagai bahan lapisan dasar yang selanjutnya akan dilapisi lagi dengan bahan pelapisan lain seperti nikel dan khrom (Giurlani, 2018).

## 2.5 Preparasi Spesimen sebelum Proses Elektroplating

Benda kerja yang akan dilapisi dengan cara elektroplating harus melalui beberapa proses pembersihan sebelumnya, tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan kontaminan seperti, debu dan pengotor lain yang masih menempel pada permukaannya. Kontaminasi permukaan dapat berupa kotoran organik, debu dari lingkungan atau proses sebelumnya dan ekstrinsik seperti lapisan oksida alami. Untuk itu, pembersihan permukaan penting untuk memastikan kualitas pelapisan. Kebanyakan pembersihan permukaan logam memiliki tiga langkah dasar yaitu *surface cleaning*, *surface treatment* dan *rinsing*.

### 2.5.1 *Surface Cleaning*

Pada tahap *surface cleaning* metode pembersihan yang digunakan harus bisa meminimalisasi kerusakan zat selama proses pembersihan kontaminan, debu, film dan/atau puing. Proses pembersihan didasarkan pada dua pendekatan : pendekatan secara kimia dan pendekatan secara mekanik

#### 1. Pendekatan secara Kimia

Pendekatan secara kimia biasanya meliputi *solvent degreasing*, *alkaline cleaning* dan *acid cleaning (acid pickling)*.

- *Solvent degreasing*

Kontaminan mengandung minyak dan pelumas dari berbagai tipe, lilin dan berbagai macam material organik. Kontaminan tersebut dapat dihilangkan dengan pelarut organik yang sesuai, baik dengan mencelupkan benda kerja dalam pelarut atau dengan penurunan uap.

- *Alkaline cleaning*  
Benda kerja diimersi dalam tangki yang mengandung larutan pembersih alkalin yang panas untuk menghilangkan kotoran dan tanah. Sebuah tipe alkalin yang spesial dinamakan *electrocleaning*. Pada *electrocleaning*, benda kerja dapat berupa katoda (*direct cleaning*) ataupun anoda (*reverse cleaning*). Penambahan *electrocleaning* pada pembersihan kimia dari pembersih akan menyebabkan munculnya pembersihan secara mekanik disebabkan oleh munculnya banyak gas pada permukaan benda kerja.
- *Acid Cleaning*  
*Acid cleaning* dapat membersihkan kerak berat, kerak yang timbul karena proses pemanasan, oksida dan sejenisnya. Jenis asam yang paling sering dipakai meliputi sulfur dan hidroklorida. *Pickling* juga dapat dikombinasikan arus agar lebih efektif.

## 2. Pendekatan Mekanik

Preparasi mekanik meliputi *polishing*, *buffing* dan beberapa variasi lainnya. *Polishing* digunakan untuk menghilangkan sejumlah kecil logam dengan cara abrasif. Dari proses ini akan didapatkan permukaan yang bebas dari cacat yang diakibatkan oleh proses *grinding* dan merupakan awal untuk melakukan *buffing*. *Buffing* sama dengan proses *polishing*, tetapi *buffing* menggunakan abrasif yang lebih halus untuk menghilangkan sangat sedikit bagian logam. *Buffing* dapat menghasilkan permukaan logam yang sangat halus.

---

### 2.5.2 *Surface Modification*

*Surface modification* merupakan sebuah proses untuk melakukan perubahan pada atribut permukaan, seperti memberikan lapisan logam sebagai dasaran dan/atau proses pengerasan.

### 2.5.3 *Rinsing*

Dalam proses preparasi, saat benda kerja dipindahkan dari satu larutan perlakuan ke perlakuan lain, atau saat benda kerja tersebut meninggalkan larutan perlakuan terakhir, beberapa sisa larutan akan menempel pada benda kerja, larutan yang masih menempel ini disebut *drag-out*. Dalam banyak kasus, residu larutan ini harus dihilangkan dari permukaan benda kerja dengan cara *rinsing* atau pembilasan yaitu mencelupkan benda kerja ke dalam air sebelum benda kerja memasuki tahap selanjutnya dalam rangkaian pelapisan, atau keluar dari larutan proses akhir (Huang, 2016)

## 2.6 Seng

Seng merupakan logam yang memiliki warna abu-abu kebiruan. Seng banyak digunakan karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Seng banyak diaplikasikan untuk membentuk lapisan tipis pada lembaran baja. Lembaran baja yang berlapis seng tersebut sering disebut lembaran baja galvanis. Lapisan seng dapat memberikan perlindungan perlindungan korosi hingga bertahun-tahun. Seng memiliki titik leleh yang rendah dan fluiditas yang tinggi sehingga cocok untuk membuat produk-produk yang cara pembuatannya menggunakan *die casting* (Gupta, 2009). Dalam jumlah produksinya seng menempati urutan terbesar ke empat setelah baja, aluminium, dan tembaga. Untuk penggunaannya logam seng sering digunakan untuk fabrikasi komponen baja dalam bentuk *die casting alloys* dan juga dipadukan dengan tembaga untuk dijadikan kuningan. Kebanyakan dari pemanfaatan logam seng adalah dijadikan bahan pelapis logam lain untuk memproteksi logam tersebut dari korosi. Seng juga diaplikasikan dalam bentuk oksida yang biasa digunakan untuk vulkanisasi pada karet dan ban.

Seng oksida juga dapat digunakan sebagai fertilisator dan sebagian kecil digunakan dalam bidang farmasi dan keperluan medis (Ghofur,2015).

Penggunaan seng sebagai bahan pelapis logam sudah sejak lama diaplikasikan. Seng banyak dipilih sebagai bahan pelapis karena sifatnya yang tahan korosi, murah harganya, dan menghasilkan lapisan dengan tampak permukaan yang cukup baik. Pelapisan seng pada logam disebut juga dengan *galvanising*. Beberapa teknik yang dapat dilakukan untuk proses *galvanising* yaitu *hot dip galvanising*, *cold dip galvanising*, dan elektroplating.

1. *Hot dip galvanising*

*Hot dip galvanising* merupakan pelapisan seng dengan cara mencelupkan logam yang akan dilapisi kedalam sebuah bak yang berisi seng yang telah dilelehkan. Sebelum proses pencelupan dimulai logam yang akan dilapisi dibersihkan terlebih dahulu. Tujuannya yaitu untuk menghilangkan minyak, cat, karat, dan pengotor lainnya dari permukaan logam tersebut. Setelah logam bersih maka dapat dilakukan pencelupan. Selanjutnya logam akan ditarik dengan mesin rol dimana mesin rol tersebut juga akan menjadikan permukaan dan ketebalan lapisan seng yang dihasilkan menjadi seragam. Logam yang harus dilapisi dengan cara ini harus memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari titik leleh seng.

2. *Cold dip galvanising*

*Cold dip galvanising* merupakan proses pelapisan seng yang lebih murah namun memerlukan lebih banyak waktu. Pertama benda yang akan dilapisi dibersihkan terlebih dahulu. Setelah itu benda kerja digantungkan pada sebuah *cold zinc bath* yang tersusun atas seng klorida dan beberapa garam lainnya. Benda kerja didiamkan pada bak tersebut selama 3 hingga 12 jam sesuai dengan ketebalan lapisan yang diinginkan. Selama proses tersebut *bath* harus diaduk secara berkala. Proses ini tidak memerlukan daya untuk memanaskan *bath*. Seng mempunyai kecenderungan

untuk sublimasi, sehingga pada proses hot dip beberapa jumlah seng terbuang karena proses sublimasi. Oleh karena itu proses *cold dip* lebih murah dan lebih baik karena dalam prosesnya tidak kehilangan logam seng yang dikarenakan sublimasi.

### 3. Elektroplating

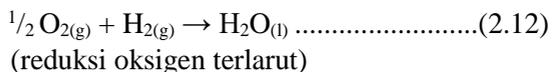
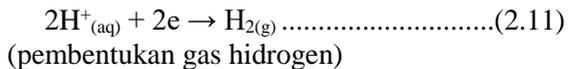
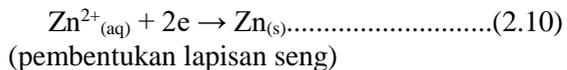
Elektroplating yang dikenal juga sebagai pelapisan elektrokimia merupakan sebuah proses elektrolisis. Pada proses ini benda kerja dan logam seng yang telah dihubungkan dengan sumber arus dimasukkan ke dalam larutan elektrolit. Pada proses ini ion-ion logam seng dalam larutan elektrolit akan terdeposisi pada benda kerja yang terhubung dengan arus negatif yang disebut juga sebagai katoda. Logam seng yang dihubungkan dengan arus positif atau disebut juga sebagai anoda merupakan bahan baku seng yang nantinya menjadi pelapis pada benda kerja. Logam seng akan terus berkurang karena menggantikan ion seng yang hilang dalam larutan elektrolit. Pada proses elektroplating seng larutan elektrolit yang digunakan ada beberapa macam, diantaranya yaitu larutan seng sianida dan larutan seng klorida (Gupta, 2009).

Proses elektroplating menggunakan bahan sianida sudah lama digunakan dalam dunia industri. *Throwing power* dari larutan sianida secara signifikan lebih baik daripada larutan asam. Selain itu lapisan yang dihasilkan dengan larutan sianida memiliki tingkat keuletan dan keseragaman yang lebih tinggi dibanding dengan lapisan yang dihasilkan menggunakan larutan asam. Jika dinilai dari segi estetika lapisan yang dihasilkan kurang cerah dan berkilau. Semakin cerah lapisan seng yang dihasilkan maka berarti kandungan organiknya lebih tinggi sehingga akan mengurangi keuletan dari lapisan yang dihasilkan.

Proses elektroplating menggunakan larutan seng klorida sudah ada sejak lebih dari 40 tahun yang lalu.

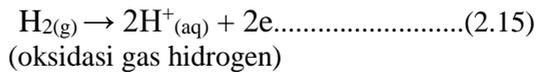
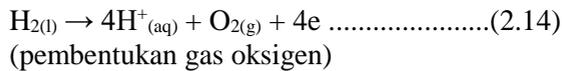
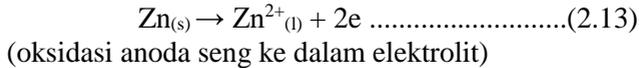
Proses menggunakan ini telah dikembangkan dari yang semula sangat sensitif terhadap komposisi elektrolitnya, temperatur, densitas arus menjadi proses yang dapat dioperasikan pada rentang yang lebih luas. Kelebihan dari elektroplating menggunakan larutan jenis ini yaitu memiliki lapisan yang lebih rata dan mengkilap, efisiensi platingnya antara 95 hingga 100%, bisa digunakan untuk melapisi berbagai jenis substrat seperti *cast iron*, dan juga baja yang telah dilakukan pengerasan dengan berbagai metode. Akan tetapi elektroplating menggunakan larutan seng klorida juga memiliki beberapa kelemahan seperti sifat larutannya yang korosif dan juga *throwing power*nya yang rendah. Meskipun keseragaman dan keuletan lapisan yang dihasilkan tidak sebagus jika menggunakan larutan sianida akan tetapi keseragaman dan keuletannya masih baik (Clifford, 2011).

Pada proses pelapisan seng endapan yang dihasilkan pada katoda berasal dari ion logam seng positif ( $Zn^{2+}$ ) yang berada pada larutan elektrolit yang ditarik oleh katoda yang bermuatan negatif sehingga ion logam seng positif ( $Zn^{2+}$ ) tersebut akan tereduksi dan menghasilkan endapan yang membentuk lapisan pada permukaan katoda sesuai dengan reaksi pada Persamaan 2.10 – 2.12



Bersamaan dengan reaksi di atas anoda seng akan teroksidasi dan larut dalam larutan elektrolit menggantikan ion

seng dalam larutan elektrolit yang sudah tereduksi sesuai dengan Persamaan 2.13 – 2.15



Jika proses elektroplating berjalan seimbang maka akan terjadi pengendapan (deposit) logam seng pada permukaan katoda dan anoda semakin lama akan berkurang sedangkan konsentrasi larutan elektrolit akan tetap (Yerikho, 2013).

Hasil pelapisan elektroplating seng memiliki ketebalan yang berbeda-beda. Tingkatan ketebalan hasil pelapisan seng secara elektroplating ditunjukkan pada Tabel 2.4 dibawah ini.

**Tabel 2.4** Tingkat Ketebalan Lapisan Seng (ASTM B633 – 13)

Ketebalan Minimum ( $\mu\text{m}$ )	Kategori	Klasifikasi
25	SC 4 ( <i>very severe</i> )	<i>Very good</i>
12	SC 3 ( <i>severe</i> )	<i>Good</i>
8	SC 2 ( <i>moderate</i> )	<i>Moderate</i>
5	SC 1 ( <i>mild</i> )	<i>Poor</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  $\mu\text{m}$ . 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 dihasilkan 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  $\mu\text{m}$ . 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  $\mu\text{m}$  dan diberi kode SC 2 (*moderate*). Lapisan dengan tingkatan ini tahan pada kondisi kering 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  $\mu\text{m}$ . lapisan ini mampu bertahan pada kondisi kering yang jarang terkena basah ataupun abrasi. Biasanya digunakan untuk melapisi kancing, kawat, dan komponen pengunci seperti mur dan baut (ASTM B633 – 13).

## 2.7 Korosi

Korosi merupakan proses atau reaksi elektrokimia yang bersifat alamiah dan berlangsung dengan sendirinya pada logam yang berada dalam suatu lingkungan korosif baik itu berbentuk gas maupun cairan atau elektrolit (Callister, 2013). Korosi merupakan proses degradasi material secara kuantitas maupun kualitas karena bereaksi dengan lingkungannya. Lingkungan yang dimaksud di sini dapat berupa lingkungan atmosfer, gas, tanah, larutan garam, larutan asam dan lainnya (Roberge, 2012). Pada proses korosi terdapat 4 komponen utama yang mempengaruhi kelangsungan proses korosi, yaitu :

1. Anoda

Anoda merupakan komponen logam yang mengalami reaksi oksidasi atau melepaskan elektron kemudian membentuk ion yang bereaksi untuk membentuk karat.

2. Katoda

Katoda merupakan komponen logam dimana terjadi proses reduksi. Pada katoda akan dihasilkan produk korosi.

## 3. Elektrolit

Elektrolit merupakan sebuah larutan bersifat konduktor yang mengandung ion-ion yang dapat menghantarkan arus listrik sebagai media perpindahan elektron dari anoda ke katoda. Larutan yang bisa digunakan sebagai elektrolit dapat berupa larutan asam, basa, dan garam.

## 4. Kontak langsung

Proses korosi dapat terjadi apabila anoda dan katoda mengalami kontak secara langsung sehingga reaksi reduksi dan oksidasi dapat berlangsung secara spontan.

Metode *weight loss* atau kehilangan berat merupakan metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan laju korosi. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya material yang hilang atau kehilangan berat setelah dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM G 31-72. Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu dilakukan pada suatu lingkungan yang korosif seperti pada air laut selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis logam yang di uji maka dihasilkan suatu laju korosi. Persamaan laju korosi dapat ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

- K : Konstanta (lihat pada Tabel 2.5)
- T : *Time of exposure* (jam)
- A : Luas permukaan yang direndam (cm<sup>2</sup>)
- W : Kehilangan berat (gram)
- D : Density (gr/cm<sup>3</sup>)

**Tabel 2.5** Konstanta Perhitungan Laju Korosi (Robinson, 1979)

Satuan Laju Korosi / <i>Corrosion Rate</i>	Konstanta
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Milimeters per year (mmpy)	$8,76 \times 10^4$
Micrometers per year ( $\mu$ mpy)	$8,76 \times 10^7$

Berdasarkan ISO 12944 laju korosi pada baja diklasifikasikan menjadi beberapa tingkat seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.6

**Tabel 2.6** Tingkatan Klasifikasi Laju Korosi Berdasarkan ISO 19244

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

## 2.8 *State of The Art*

Daniel Oloruntoba dkk pada tahun 2010 melakukan sebuah penelitian tentang pengaruh waktu terhadap hasil elektroplating Ni pada baja karbon rendah. Pada penelitian tersebut waktu yang digunakan yaitu 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Berdasarkan hasil yang didapatkan variasi waktu memberikan efek terhadap ketebalan nikel yang dihasilkan dimana semakin lama waktu yang digunakan semakin tebal lapisan nikel yang dihasilkan.

Ketebalan lapisan nikel yang didapat dengan waktu elektroplating selama 10, 15, 20, 25, dan 30 menit secara berturut-turut adalah 4,68, 5,10, 5,15, 6,87, dan 9,36  $\mu\text{m}$ .

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Basmal dkk pada tahun 2012 tentang pengaruh suhu dan waktu pelapisan tembaga-nikel terhadap nilai ketebalan dan kekasaran hasil lapisan secara elektroplating menunjukkan bahwa suhu dan waktu elektroplating mempengaruhi nilai ketebalan dan kekasaran hasil lapisan. Pada penelitian ini suhu divariasikan pada 45°C, 55°C, dan 65°C menunjukkan hasil bahwa semakin tinggi suhu elektroplating semakin tinggi pula nilai ketebalan dan kekasaran lapisan yang dihasilkan. Waktu yang divariasikan pada 10, 20, dan 30 menit menunjukkan perubahan ketebalan dan kekerasan yang kurang beraturan.

Pada tahun 2013 sebuah penelitian tentang pengaruh variasi tegangan dan waktu terhadap ketebalan dan adhesivitas lapisan seng pada baja karbon rendah dengan proses elektroplating dilakukan oleh Yerikho dkk. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa tegangan dan waktu memberikan pengaruh terhadap ketebalan lapisan seng yang dihasilkan. Tegangan yang divariasikan pada 2, 4, 6, dan 8 volt dan waktu yang divariasikan pada 10, 20, 30, dan 40 menit menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan dan waktu elektroplating maka ketebalan yang dihasilkan juga semakin tinggi. Sementara untuk adhesivitas didapatkan nilai optimum pada variasi tegangan 4 V dengan waktu 10 menit, 6 V dengan waktu 20 menit, dan 8 V dengan waktu 30 menit.

Sebuah penelitian tentang tentang pelapisan nikel pada Baja ST37 dilakukan oleh Andhi Setyo Pamungkas dkk pada tahun 2018. Dalam penelitian tersebut temperatur elektrolit divariasikan pada 60°C, 70°C, dan 80°C. Dari variabel tersebut dianalisa pengaruhnya terhadap ketebalan lapisan nikel yang dihasilkan. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa temperatur mempunyai pengaruh terhadap ketebalan yang dihasilkan. Pada temperatur 60°C dan 70°C didapatkan hasil lapisan nikel sebanyak 0,02 gram dan pada temperatur 80°C didapatkan hasil lapisan nikel

sebanyak 0,04 gram. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur akan menghasilkan ketebalan yang semakin tinggi pula.

Sudarmono Rizki Yulianto melakukan sebuah penelitian pada tahun 2013 tentang pelapisan nikel khrom pada baja ST 40 secara elektroplating. Dalam penelitian tersebut dilakukan variasi temperatur 40 °C, 45 °C, 50 °C, 55 °C, dan 55 °C yang akan dianalisa pengaruhnya terhadap ketebalan dan kekerasan lapisan nikel khrom yang dihasilkan. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semaikin naik temperatur nilai ketebalan dan kekerasan lapisan semakin meningkat. Akan tetapi pada temperatur 60 °C ketebalan dan kekerasan yang didapatkan justru menurun.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Kadhim F. Alsultani dkk pada tahun 2016 tentang pengaruh waktu terhadap banyaknya lapisan seng yang dihasilkan dengan cara elektroplating menunjukkan bahawa semakin lama waktu proses elektroplating maka endapan yang dihasilkan semakin banyak. Dalam penelitian tersebut dilakukan variasi waktu plating yaitu 5, 10, 15, dan 20 menit, banyaknya endapan seng yang dihasilkan untuk variasi waktu tersebut secara berturut-turut adalah 0,033, 0,042, 0,053, dan 0,061 gram.

O. Sadiku-Agboola dkk pada tahun 2010 melakukan sebuah penelitian tentang pengaruh temperatur terhadap kecerahan hasil lapisan nikel dengan metode elektroplating. Dalam penelitian tersebut temperatur divariasikan pada 44, 48, 52, dan 56 °C. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil pada temperatur 44 °C kecerahan yang didapat yaitu *dull bright*, pada temperatur 48 °C kecerahan yang didapat yaitu *bright*, pda temperatur 52 °C kecerahan yang didapat yaitu *brighter*, dan pada temperatur 56 °C kecerahan yang didapat yaitu *brightest*.

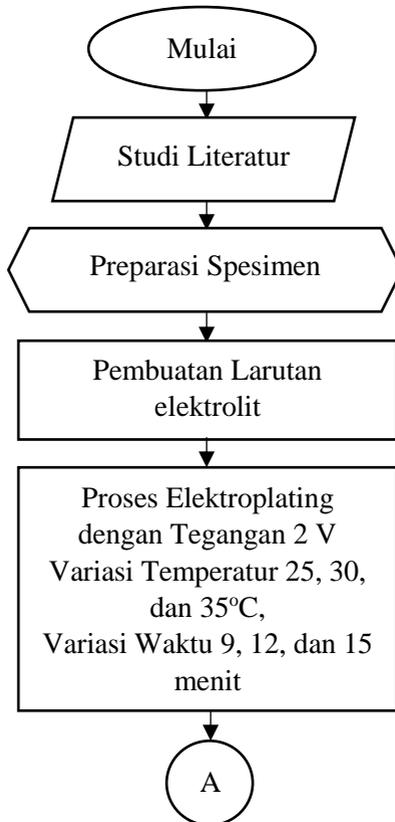
Pada tahun 2010 Eliaz dkk melakukan sebuah penelitian tentang elektroplating seng. Dalam penelitian tersebut dianalisa pengaruh rapat arus terhadap kekerasan hasil lapisan seng. Rapat arus divariasikan pada 10, 20, 30, 40, dan 50 mA cm<sup>-2</sup> dan

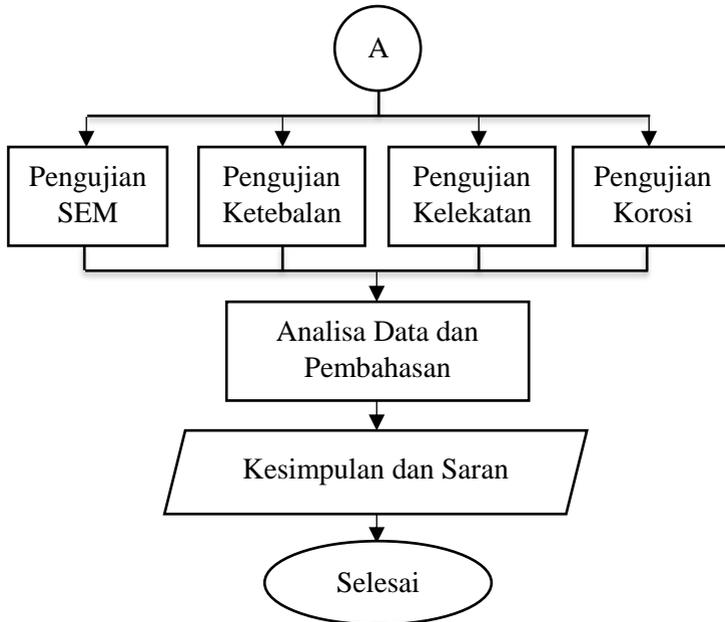
---

didapatkan nilai kekerasan dari masing-masing variasi tersebut secara berturut-turut adalah 172, 197, 220, 214, dan 205 VHN.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Percobaan





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

## 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Rectifier*
2. Pemanas air
3. Termometer
4. Stopwatch
5. Alat uji ketebalan
6. Alat uji kelekatan
7. Alat uji *Scanning Electron Microscope*

### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini ada sebagai berikut:

1. Baja
2. Seng
3.  $ZnCl_2$
4. KCl
5.  $H_3BO_3$
6. *Zylite additive (290 carrier)*
7. *Zylite brightener (290 maintenance)*
8. HCl

### **3.3 Prosedur Penelitian**

#### **3.3.1 Preparasi Spesimen**

Sebelum proses elektroplating dilakukan spesimen harus dipreparasi terlebih dahulu untuk memudahkan proses penelitian. Selain itu preparasi juga berguna untuk menyeragamkan keadaan awal spesimen sehingga hasil penelitian yang dilakukan lebih baik dan lebih akurat. Preparasi dilakukan dengan beberapa tahapan berikut ini:

1. Memotong spesimen untuk memudahkan proses elektroplating dan pengujian lainnya. Pemotongan yang dilakukan menggunakan proses *wire cutting* sehingga potongan yang dihasilkan lebih lurus dan halus.
2. Menghaluskan spesimen dengan menggunakan amplas. Selain untuk menghaluskan permukaan pengamplasan juga berguna untuk menghilangkan kotoran seperti ataupun produk korosi yang menempel pada permukaan spesimen.
3. Merendam spesimen dalam HCl 30% selama 15 hingga 20 menit. Proses ini dilakukan untuk membersihkan permukaan spesimen dari kotoran yang menempel seperti produk korosi.

4. Membilas spesimen dengan aquades untuk menetralkan spesimen dari sisa-sisa asam yang menempel pada spesimen.
5. Menghilangkan kotoran seperti minyak atau oli pada permukaan spesimen dengan cara merendam spesimen dalam cairan degreasing sambil mengelap permukaan spesimen menggunakan kain pembersih.
6. Membilas spesimen dengan aquades untuk menetralkan spesimen dari sisa-sisa cairan degreasing.
7. Menimbang spesimen dengan neraca analitik untuk didapatkan massa spesimen sebagai data awal.

### 3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

Proses pembuatan larutan elektrolit dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut:

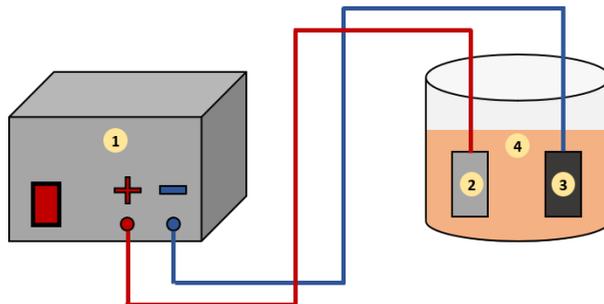
1. Menuangkan aquades yang telah dipanaskan hingga temperaturnya mencapai sekitar 50 hingga 60° C sebanyak 1 liter ke dalam gelas ukur.
2. Memasukkan asam borat ( $H_3BO_3$ ) sebanyak 30 gram dan mengaduknya hingga larut.
3. Menambahkan seng klorida ( $ZnCl_2$ ) sebanyak 55 gram secara perlahan kemudian mengaduknya hingga larut.
4. Menambahkan kalium klorida (KCl) sebanyak 175 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.

### 3.3.3 Proses Elektroplating

Proses elektroplating dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menyiapkan wadah, larutan elektrolit, logam seng, spesimen uji, dan *rectifier*.
2. Memasukkan larutan elektrolit ke dalam wadah.

3. Menggantungkan logam seng sebagai anoda sehingga posisinya melayang dalam larutan elektrolit.
4. Menggantungkan spesimen uji sebagai katoda sehingga posisinya melayang dalam larutan elektrolit.
5. Menghubungkan anoda dengan sumber arus positif dan katoda dengan sumber arus negatif dari *rectifier* sebagai sumber arus listrik.
6. Menyalakan *rectifier* dan mengatur voltase pada 2 volt.
7. Melakukan proses elektroplating.
8. Mematikan *rectifier* setelah proses elektroplating selesai.
9. Mengangkat spesimen uji dan memasukkannya ke dalam aquades untuk menetralkannya dari sisa-sisa larutan elektrolit yang menempel.



**Gambar 3.2** Rangkaian Elektroplating (dok. pribadi)

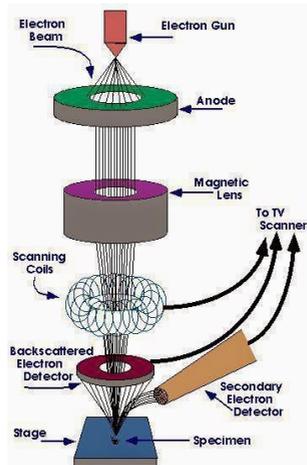
Keterangan:

1. *Rectifier*
2. Anoda
3. Katoda
4. Larutan Elektrolit

### 3.4 Pengujian SEM

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan untuk mengetahui morfologi (bentuk dan ukuran partikel) hasil permukaan lapisan yang terbentuk pada spesimen

uji. Selain itu dengan menggunakan EDX dapat digunakan untuk mengetahui komposisi unsur ataupun senyawa yang terkandung dalam lapisan tersebut. SEM menggunakan elektron sebagai sumber pembentukan gambar sehingga dapat menampilkan gambaran permukaan sampel dengan jelas. Selain itu resolusi yang dihasilkan sangat tinggi sehingga memungkinkan perbesaran gambar pada tingkatan yang lebih tinggi dari mikroskop biasa. Elektron akan ditembakkan oleh *electron gun* hingga nantinya akan mengenai spesimen dan terpantul menjadi *secondary electron* yang akan ditangkap oleh *secondary electron detector* yang telah terhubung dengan sebuah monitor yang akan menampilkan gambaran dari permukaan spesimen tersebut (Murughanantam, 2012). Untuk lebih jelasnya skema kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Skema Kerja SEM (Seyforth, 2015)

Pengujian ini dilakukan di Departemen Teknik Material FTI-ITS dengan menggunakan alat uji SEM dengan merk dagang FEI Inspect S50. Alat uji SEM dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Alat Uji SEM FEI Inspect S50 (dok. pribadi)

### 3.5 Pengujian Ketebalan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketebalan dari deposit lapisan seng yang terbentuk pada permukaan spesimen uji. Pengujian ini dilakukan di PT. Cipta Agung dengan menggunakan alat uji ketebalan *Dry Film Thickness (DFT) Electomer*. Alat uji ketebalan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Alat Uji Ketebalan *DFT Electomer* (Elcometer, 2016)

Sebelum dilakukan proses pengukuran ketebalan lapisan *coating*, dilakukan proses kalibrasi terlebih dulu agar hasil

pengukuran yang didapat lebih akurat. Proses kalibrasi dilakukan dengan meletakkan *probe* pada sebuah mika pengalibrasi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Proses Kalibrasi Alat Ukur Ketebalan DFT (dok. pribadi)

Setelah dilakukan proses kalibrasi maka proses pengukuran ketebalan lapisan *coating* siap dilakukan. Pengujian ketebalan lapisan dilakukan dengan menempelkan *probe* secara tegak lurus pada permukaan spesimen uji. Selanjutnya *probe* tersebut akan membaca ketebalan dari lapisan *coating* hingga terdengar tanda suara dari alat DFT yang menandakan bahwa pengukuran telah selesai. Selanjutnya hasil pengukuran ketebalan lapisan *coating* akan ditampilkan pada sebuah layar kecil yang terdapat pada alat ukur ketebalan DFT tersebut. Dalam pengukuran ini *probe* harus diletakkan dengan benar yaitu tegak lurus dengan spesimen uji. Kesalahan dalam peletakkan *probe* pada spesimen uji akan menghasilkan pengukuran yang kurang akurat di mana nilai ketebalan yang terbaca bisa lebih besar ataupun lebih kecil dari nilai ketebalan yang sebenarnya. Sehingga dalam pengukuran ketebalan menggunakan alat uji DFT ini diperlukan ketelitian dari operator. Pengujian ketebalan lapisan dengan alat uji DFT ditunjukkan oleh Gambar 3.7



**Gambar 3.7** Pengukuran Ketebalan Lapisan *Coating* Seng (Zn) Menggunakan Alat Uji Ketebalan DFT (dok. pribadi)

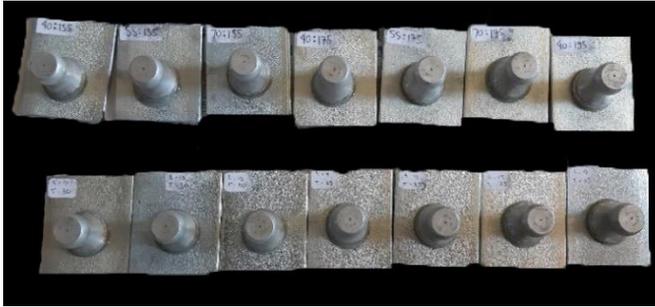
Dalam prosesnya spesimen diuji ketebalannya pada tiga titik yaitu di setiap ujung dan di tengah. Setelah didapatkan hasil pengujian selanjutnya ketiga data tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai ketebalan rata-rata untuk lapisan hasil deposit seng pada spesimen uji.

### 3.6 Pengujian Kelekatan

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan lekat antara lapisan hasil deposit seng dengan spesimen uji. Pengujian ini dilakukan di PT. Cipta Agung dengan metode *Pull Off* dengan menggunakan alat PosiTect AT-M Adhesion Tester. Alat ini memiliki spesifikasi resolusi 1 psi (0,01 Mpa) dengan tingkat akurasi  $\pm 1\%$  skala penuh.

Sebelum dilakukan pengujian, spesimen dibersihkan terlebih dulu dengan cara mengelap spesimen uji menggunakan kain yang telah dibasahi dengan *thinner*. Pembersihan ini dilakukan untuk menghilangkan debu serta pengotor lainnya seperti minyak yang terdapat pada permukaan spesimen uji. Setelah spesimen uji dibersihkan selanjutnya *dolly* berbentuk seperti pion catur ditempelkan pada permukaan spesimen uji menggunakan lem epoxy dengan waktu pengeringan lem selama

satu hari untuk memaksimalkan pengeringan dan daya lekat dari lem tersebut. Penempelan *dolly* pada spesimen uji ditunjukkan oleh Gambar 3.8



**Gambar 3.8** Penempelan *Dolly* pada Spesimen Uji (dok. pribadi)

Setelah pengeringan lem selesai selanjut dilakukan pembersihan lem yang berada di luar area *dolly* menggunakan alat pemotong khusus yang berbentuk silinder agar hasil kekuatan lekat yang didapatkan lebih akurat. Selanjutnya dilakukan proses pencabutan *dolly* dengan memasang sebuah tuas penarik yang terhubung dengan alat pembaca tekanan pada *dolly* yang telah ditempelkan pada spesimen uji. Secara perlahan tuas ditekan hingga *dolly* tercabut dari spesimen uji dan hasil kekuatan lekat dapat dilihat pada layar yang terdapat pada alat pembaca tekanan. Pengujian kekuatan lekat ini dapat dilihat pada Gambar 3.9



**Gambar 3.9** Pengujian Kekuatan Lekat Lapisan Seng dengan Metode *Pull-off* (dok. pribadi)

### 3.7 Pengujian Laju korosi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan lapisan yang dihasilkan terhadap laju korosi. Pengujian ini menggunakan pengujian *weight loss* dengan metode *immerse*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Departemen Teknik Material FTI-ITS. Pengujian *immerse* ini menggunakan NaCl 3,5% dan dilakukan selama 96 jam. Adapun proses pengujian *weight loss* berdasarkan standar ASTM G-31 :

1. Menimbang berat awal masing-masing spesimen uji.
2. Melilitkan spesimen dengan benang.
3. Menggantungkan spesimen pada stik es.
4. Merendam spesimen dalam wadah yang berisi larutan NaCl 3,5 %.
5. Mengambil spesimen setelah 96 jam.
6. Mencuci spesimen dengan air sabun.
7. Mengeringkan spesimen.
8. Menimbang berat akhir masing-masing spesimen uji.

Pengujian laju korosi dengan metode *immerse* dapat dilihat pada Gambar 3.10



**Gambar 3.10** Pengujian Laju Korosi dengan Metode *Immerse* (dok. pribadi)

### 3.8 Rencana Penelitian

Rencana yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

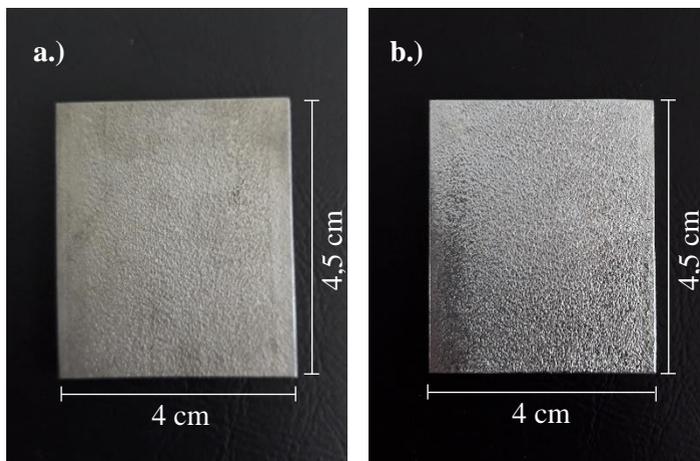
**Tabel 3.1** Rencana Penelitian

Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Sampel	Pengujian			
			SEM - EDX	Ketebalan	Kelekatan	Laju korosi
25	9	A1	-	v	v	v
	12	A2	-	v	v	v
	15	A3	v	v	v	v
30	9	B1	-	v	v	v
	12	B2	-	v	v	v
	15	B3	-	v	v	v
35	9	C1	-	v	v	v
	12	C2	-	v	v	v
	15	C3	-	v	v	v

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengamatan Makro

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui perbedaan dan perubahan spesimen uji sebelum dan sesudah dilakukan proses elektroplating seng (Zn). Pengamatan ini dilakukan dengan pengamatan langsung secara visual. Spesimen yang digunakan berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 5 cm, lebar 4 cm, dan ketebalan 0.4 cm. Selanjutnya dilakukan penghalusan dan pembersihan spesimen sebelum dilakukan proses elektroplating. Larutan elektrolit yang digunakan yaitu larutan  $ZnCl_2$  dengan penambahan *zylite aditive* dan *zylite brightener* yang berguna untuk meratakan dan mencerahkan hasil lapisan. Gambar spesimen uji sebelum dan sesudah dilakukan proses elektroplating ditunjukkan pada Gambar 4.1



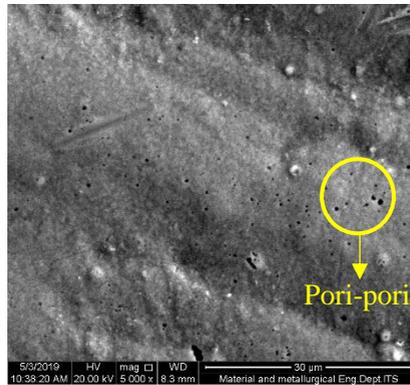
**Gambar 4.1** Spesimen Uji a.) sebelum Proses Elektroplating dan b.) setelah Proses Elektroplating

Berdasarkan pengamatan visual yang dilakukan, dapat dilihat terdapat perbedaan antara spesimen uji sebelum dilakukan proses elektroplating dan spesimen uji setelah dilakukan proses elektroplating. Spesimen yang telah dilakukan proses elektroplating terlihat lebih cerah dan berkilau dibanding dengan spesimen uji sebelum dilakukan proses elektroplating yang terlihat lebih kusam. Dari pengamatan ini dapat dilihat pula bahwa spesimen telah terlapisi dengan baik, yaitu seluruh permukaan spesimen telah terlapisi logam seng (Zn) yang digunakan sebagai bahan pelapis secara merata dan menyeluruh serta tidak ada bagian yang tidak terlapisi oleh logam seng (Zn).

Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 spesimen yang telah dilakukan proses elektroplating terlihat seluruh permukaannya terdapat perubahan warna dan lebih mengkilap dibanding dengan spesimen yang belum dilakukan proses elektroplating. Hal ini menunjukkan bahwa pada spesimen yang telah dilakukan proses elektroplating yang terlihat adalah seluruhnya deposit logam seng hasil elektroplating yang menutupi spesimen uji sehingga warna atau penampakan asli dari spesimen uji sudah tidak terlihat lagi.

#### **4.2 Pengamatan Mikro**

Pengamatan secara mikro dilakukan untuk mengetahui morfologi dan unsur yang terdapat pada permukaan hasil lapisan. Selain itu pengamatan mikro juga bertujuan untuk memastikan adanya lapisan seng (Zn) pada spesimen uji serta membuktikan apakah lapisan tersebut telah melapisi seluruh permukaan spesimen uji atau belum. Pengamatan secara mikro ini dilakukan dengan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) serta *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDX). Sampel A3 dipilih untuk pengamatan mikro karena variasi pada sampel A3 merupakan variasi standar yang digunakan dalam industri. Hasil pengamatan permukaan spesimen menggunakan SEM ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



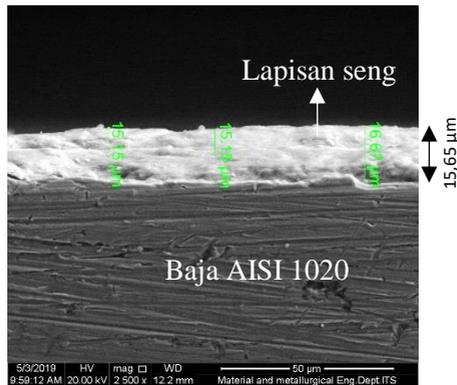
**Gambar 4.2** Pengujian SEM Permukaan Spesimen Hasil Elektroplating Seng dengan Perbesaran 5000x

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa spesimen uji telah terlapi seluruhnya oleh lapisan seng (Zn). Pada pengamatan dengan perbesaran 5000x mulai terlihat lubang-lubang yang sangat kecil pada lapisan seng yang terbentuk. Lubang-lubang ini terbentuk karena pada saat proses elektroplating berlangsung akan terbentuk gas hidrogen ( $H_2$ ) berupa gelembung-gelembung sesuai dengan Persamaan 2.11. Akibat terbentuknya gelembung-gelembung hidrogen pada katoda maka bagian katoda yang tertutupi oleh gelembung tersebut tidak akan terlapi oleh seng karena proses deposisi atau reduksi  $Zn^{2+}$  seperti pada Persamaan 2.10 akan terhalang oleh gelembung tersebut.

Menurut Cornaglia (2017) katoda yang dibanjiri dengan elektron yang berasal dari sumber listrik searah akan menarik ion-ion positif logam dari garam yang ada pada larutan elektrolit. Selanjutnya ion-ion tersebut akan tereduksi dan terdeposisi pada permukaan katoda. Namun karena adanya produksi gelembung hidrogen maka bagian katoda yang tertutup gelembung tersebut tidak dapat menarik ion logam karena terhalang oleh gelembung tersebut sehingga proses deposisi tidak dapat terjadi. Hal ini akan menghasilkan permukaan deposisi yang cekung ke dalam yang

berbentuk seperti gelembung dan terlihat seperti membentuk lubang atau pori pada permukaan hasil lapisan.

Selain untuk mengamati hasil permukaan lapisan yang terbentuk, pengujian SEM juga digunakan untuk mengamati penampang melintang (*cross section*) dari spesimen uji. Hasil pengamatan penampang melintang (*cross section*) spesimen menggunakan SEM ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pengujian SEM Penampang Melintang (*Cross Section*) Spesimen Hasil Elektroplating Seng dengan Perbesaran 2500x

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa logam seng (Zn) yang terlihat lebih terang pada gambar terdeposisi secara merata pada permukaan spesimen uji yang terlihat lebih gelap pada gambar. Hal tersebut membuktikan bahwa benar terjadi deposisi ion logam  $Zn^{2+}$  pada permukaan spesimen uji. Pada pengamatan penampang melintang ini juga dilakukan pengukuran ketebalan lapisan. Ketebalan lapisan diukur pada tiga titik dan didapatkan nilai ketebalan dari ketiga titik tersebut yaitu 15,15  $\mu m$ , 15,15  $\mu m$ , dan 16,67  $\mu m$ . selanjutnya ketiga nilai ketebalan tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai ketebalan rata-rata lapisan seng sebesar 15,65  $\mu m$ .

Untuk mengetahui komposisi dari lapisan yang terbentuk maka dilakukan pengujian EDX pada permukaan hasil lapisan. Hasil pengujian EDX dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Uji EDX Permukaan Spesimen Hasil Elektroplating Seng

Element	Wt %	At %
Zn	100	100

Seperti data yang ditunjukkan oleh Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa lapisan yang terbentuk pada spesimen uji tersusun atas 100% unsur Zn. Hal ini menunjukkan bahwa unsur yang terdeposisi pada permukaan spesimen uji adalah sepenuhnya unsur Zn dan tidak ada unsur pengotor. Hal ini juga menunjukkan bahwa lubang atau pori-pori yang terbentuk pada permukaan hasil lapisan bukanlah lubang yang menembus hingga ke spesimen uji tetapi lubang atau pori-pori tersebut hanyalah cekungan pada permukaan hasil lapisan dimana dasar dari cekungan tersebut masih bagian dari lapisan seng (Zn).

### 4.3 Pengujian Ketebalan

Pengujian ketebalan ini dilakukan untuk mengetahui ketebalan dari lapisan seng (Zn) yang telah terdeposisi pada spesimen uji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat pengukur ketebalan lapisan *coating* DFT (*Dry Film Thickness*) dengan merek dagang *Elcometer* dan mengacu pada ASTM B499.

Dalam pengujian ketebalan ini dilakukan pengukuran pada tiga titik yaitu dua titik pada masing-masing bagian tepi atau ujung spesimen, dan satu titik di bagian tengah spesimen. Setelah didapatkan tiga nilai ketebalan selanjutnya ketiga nilai tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai ketebalan rata-rata dari lapisan *coating*. Hasil pengukuran ketebalan menggunakan alat uji ketebalan DFT ditunjukkan oleh Tabel 4.2

**Tabel 4.2** Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan *Coating* Seng (Zn) Menggunakan Alat Uji Ketebalan DFT

Sampel	Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )			Ketebalan rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
	1	2	3	
A1	14,2	15,6	14,4	$14,73 \pm 0,75$
A2	19,4	19,1	18,8	$19,10 \pm 0,30$
A3	22,8	23,1	22,9	$22,93 \pm 0,15$
B1	15,6	16,2	15,3	$15,70 \pm 0,45$
B2	20,7	21,2	20,8	$20,90 \pm 0,26$
B3	23,2	24,1	23,7	$23,67 \pm 0,45$
C1	19,8	19,7	19,2	$19,56 \pm 0,32$
C2	23,2	24,2	22,9	$23,43 \pm 0,68$
C3	28,7	26,6	29,1	$28,13 \pm 1,34$

Berdasarkan hasil pengukuran ketebalan lapisan seng seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa proses elektroplating dengan variasi temperatur dan waktu memiliki hasil ketebalan yang berbeda-beda.

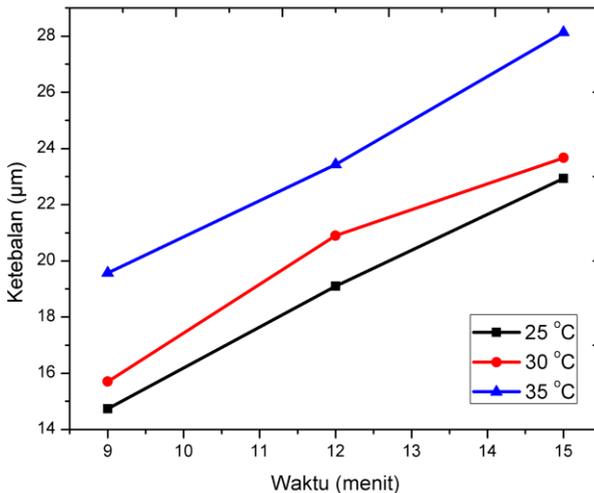
Proses elektroplating dengan temperatur  $25^{\circ}\text{C}$  yang kemudian waktu pelapisannya divariasikan lagi sebesar 9, 12, dan 15 menit selanjutnya disebut dengan sampel A1, A2, dan A3. Pengujian tersebut menghasilkan ketebalan lapisan dalam rentang  $14,2 \mu\text{m}$  hingga  $23,1 \mu\text{m}$ . Pada sampel A1 didapatkan nilai ketebalan sebesar  $14,2$ ,  $15,6$ , dan  $14,44 \mu\text{m}$ . Kemudian ketiga nilai tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai ketebalan untuk sampel A1 sebesar  $14,73 \pm 0,75 \mu\text{m}$ . Untuk sampel A2 didapatkan nilai ketebalan sebesar  $19,4$ ,  $19,1$ , dan  $18,8 \mu\text{m}$ . Setelah dirata-rata didapatkan nilai ketebalan untuk sampel A2 sebesar  $19,10 \pm 0,30 \mu\text{m}$ . Sedangkan untuk sampel A3 didapatkan nilai ketebalan sebesar  $22,8$ ,  $23,1$ , dan  $22,9 \mu\text{m}$ . Setelah dirata-rata didapatkan nilai ketebalan untuk sampel A3 sebesar  $22,93 \pm 0,15 \mu\text{m}$ .

Proses elektroplating dengan temperatur  $30^{\circ}\text{C}$  yang kemudian waktu pelapisannya juga divariasikan lagi sebesar 9, 12, dan 15 menit selanjutnya disebut dengan sampel B1, B2, dan B3. Pengujian ini menghasilkan ketebalan lapisan yang lebih tinggi

yaitu dalam rentang 15,3  $\mu\text{m}$  hingga 24,1  $\mu\text{m}$ . Pada sampel B1 didapatkan nilai ketebalan sebesar 15,6, 16,2, dan 15,3  $\mu\text{m}$ . Setelah ketiga nilai tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai ketebalan untuk sampel B1 sebesar  $15,70 \pm 0,45 \mu\text{m}$ . Untuk sampel B2 didapatkan nilai ketebalan sebesar 20,7, 21,2, dan 20,8  $\mu\text{m}$ . Setelah dirata-rata didapatkan nilai ketebalan untuk sampel B2 sebesar  $20,90 \pm 0,26 \mu\text{m}$ . Sedangkan untuk sampel B3 didapatkan nilai ketebalan sebesar 23,2, 24,1, dan 23,7  $\mu\text{m}$ . Setelah dirata-rata didapatkan nilai ketebalan untuk sampel B3 sebesar  $23,67 \pm 0,45 \mu\text{m}$ . Jika dibandingkan dengan proses elektroplating pada temperatur 25°C maka proses elektroplating dengan temperatur 30°C mengalami kenaikan ketebalan  $\pm 1 \mu\text{m}$ .

Pada temperatur 35°C dengan variasi waktu sebesar 9, 12, dan 15 menit selanjutnya disebut dengan sampel C1, C2, dan C3. Pengujian ini menghasilkan ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur 25 dan 30 °C. Ketebalan yang dihasilkan yaitu dalam rentang 19,2  $\mu\text{m}$  hingga 29,1  $\mu\text{m}$ . Pada sampel C1 didapatkan nilai ketebalan sebesar 19,8, 19,7, dan 19,2  $\mu\text{m}$ . Dari ketiga nilai tersebut didapatkan rata-rata nilai ketebalan untuk sampel C1 sebesar  $19,56 \pm 0,32 \mu\text{m}$ . Untuk sampel C2 didapatkan nilai ketebalan sebesar 23,2, 24,2, dan 22,9  $\mu\text{m}$ . Setelah dirata-rata didapatkan nilai ketebalan untuk sampel C2 sebesar  $23,43 \pm 0,68 \mu\text{m}$ . Sedangkan untuk sampel C3 didapatkan nilai ketebalan sebesar 28,7, 26,6, dan 29,1  $\mu\text{m}$ . Setelah dirata-rata didapatkan nilai ketebalan untuk sampel C3 sebesar  $28,13 \pm 1,34 \mu\text{m}$ . Jika dibandingkan dengan proses elektroplating pada temperatur 25°C dan 30°C maka proses elektroplating dengan temperatur 35°C mengalami kenaikan ketebalan  $\pm 5 \mu\text{m}$  dari temperatur 25°C dan  $\pm 4 \mu\text{m}$  dari temperatur 30°C.

Proses elektroplating dengan variasi temperatur dan waktu menghasilkan perbedaan nilai rata-rata ketebalan yang dihasilkan. Perbedaan nilai rata-rata ketebalan tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating terhadap Nilai Ketebalan Lapisan Seng

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur yang digunakan dalam proses elektroplating akan menghasilkan nilai ketebalan yang semakin tinggi. Menurut Kumar (2015) dengan meningkatkan temperatur larutan elektrolit maka kelarutan dalam larutan tersebut akan meningkat yang nantinya akan meningkatkan konduktivitas dari larutan elektrolit tersebut. Menurut Yu (2013) konduktivitas elektrolit yang semakin tinggi akan meningkatkan transportasi ion yang nantinya dapat meningkatkan laju deposisi. Selain itu dengan temperatur elektrolit yang semakin tinggi maka viskositas dari larutan elektrolit tersebut akan semakin turun yang akan menyebabkan pergerakan larutan menjadi lebih cepat. Dengan demikian proses deposisi akan berlangsung lebih cepat sehingga menghasilkan nilai ketebalan yang lebih tinggi.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu pelapisan yang digunakan maka ketebalan yang dihasilkan akan semakin tinggi pula. Menurut Paunovic (2010) yang membahas tentang konsep elektrolisis berdasarkan hukum faraday menjelaskan bahwa waktu proses elektroplating mempengaruhi ketebalan lapisan yang dihasilkan.

$$h = \frac{Aw I t}{n F \rho A} \dots\dots\dots(4.1)$$

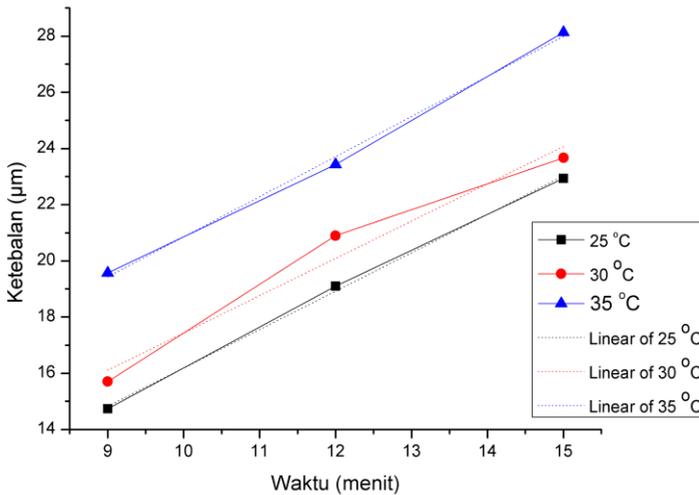
Dimana :

- h = Ketebalan lapisan
- Aw = Berat molekul
- I = Arus
- t = Waktu
- n = Jumlah elektron pada reaksi deposisi
- F = Konstanta Faraday
- $\rho$  = Densitas
- A = Luas permukaan spesimen

Sesuai dengan Persamaan 4.1 dapat dilihat bahwa waktu pelapisan berbanding lurus dengan ketebalan lapisan yang dihasilkan sehingga semakin lama waktu pelapisan yang digunakan maka lapisan yang dihasilkan akan semakin tebal.

Berdasarkan ASTM B633 – 13 dijelaskan bahwa standar untuk lapisan seng adalah 12  $\mu\text{m}$ . Sehingga dari total spesimen 9 variabel penelitian semuanya telah memenuhi standar karena semua ketebalan lapisan seng yang dihasilkan lebih dari 12  $\mu\text{m}$ .

Berdasarkan data grafik pada Gambar 4.4 selanjutnya dibuat regresi linier seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Regresi Linier Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating Seng terhadap Ketebalan Lapisan Seng

Berdasarkan regresi linier pada Gambar 4.5 didapatkan persamaan matematik hubungan antara temperatur dan waktu elektroplating terhadap ketebalan lapisan seng yang dihasilkan. Untuk proses elektroplating pada temperaur 25°C didapatkan persamaan sebagai berikut

$$y = 4.1x + 10.722 \dots\dots\dots(4.1)$$

Untuk proses elektroplating pada temperatur 30°C didapatkan persamaan sebagai berikut

$$y = 3.9833x + 12.122 \dots\dots\dots(4.2)$$

untuk proses elektroplating pada temperatur 35°C didapatkan persamaan sebagai berikut

---

$$y = 4.2833x + 15.144 \dots\dots\dots(4.3)$$

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

#### 4.4 Pengujian Kekuatan Lekat

Pengujian kekuatan lekat dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan lekat lapisan Zn yang terdeposisi pada spesimen uji. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Pull-Off* menggunakan alat uji kelekatan *PosiTest AT-M Adhesion Tester* yang mengacu pada ASTM D 4541.

Pengujian kekuatan lekat ini dilakukan di dua tempat pada masing-masing spesimen. Setelah didapatkan dua nilai kekuatan lekat selanjutnya kedua nilai tersebut dirata-rata dan didapatkan nilai kekuatan lekat rata-rata dari lapisan seng yang terdeposisi pada spesimen uji. Penampakan visual spesimen uji setelah dilakukan pengujian *Pull-off* ditunjukkan oleh Gambar 4.6



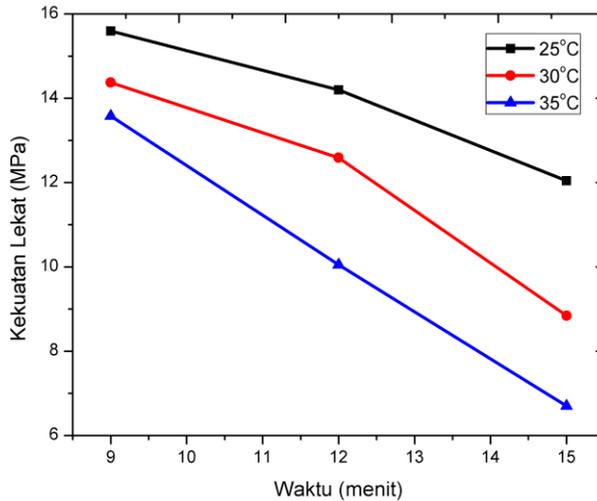
**Gambar 4.6** Hasil Pengujian *Pull-off* Lapisan Seng

Berdasarkan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa lapisan seng tidak sepenuhnya terangkat atau terlepas dari substrat tetapi masih terdapat beberapa bagian yang masih menempel. Namun karena sebagian besar lapisan seng terangkat atau dengan kata lain jumlah lapisan seng yang terangkat lebih besar dibandingkan dengan jumlah lapisan seng yang tidak terangkat sehingga nilai hasil kekuatan lekat yang didapatkan sudah dapat mewakili nilai kekuatan lekat dari lapisan seng tersebut. Hasil pengujian kekuatan lekat ditunjukkan oleh Tabel 4.3

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Kekuatan Lekat Lapisan *Coating* Seng (Zn) dengan Metode *Pull-Off*

Sampel	Kekuatan Lekat (MPa)		Kekuatan lekat rata-rata (MPa)
	1	2	
A1	15,51	15,88	15,695 ± 0,261
A2	14,21	14,19	14,200 ± 0,014
A3	12,22	11,87	12,045 ± 0,247
B1	14,34	14,41	14,375 ± 0,049
B2	12,61	12,57	12,590 ± 0,028
B3	8,47	9,21	8,840 ± 0,523
C1	13,72	13,44	13,580 ± 0,197
C2	10,12	9,98	10,050 ± 0,098
C3	6,28	7,12	6,700 ± 0,593

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat diketahui untuk sampel A1, A2, dan A3 didapatkan nilai kekuatan lekat secara berturut-turut yaitu 15,695 ± 0,261, 14,200 ± 0,014, dan 12,045 ± 0,247 MPa. Pada sampel B1, B2, dan B3 didapatkan nilai kekuatan lekat secara berturut-turut yaitu 14,375 ± 0,049, 12,590 ± 0,028, dan 8,840 ± 0,523 MPa. Pada sampel C1, C2, dan C3 didapatkan nilai kekuatan lekat secara berturut-turut yaitu 13,580 ± 0,197, 10,050 ± 0,098, dan 6,700 ± 0,593 MPa. Perbedaan nilai kekuatan lekat tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.7



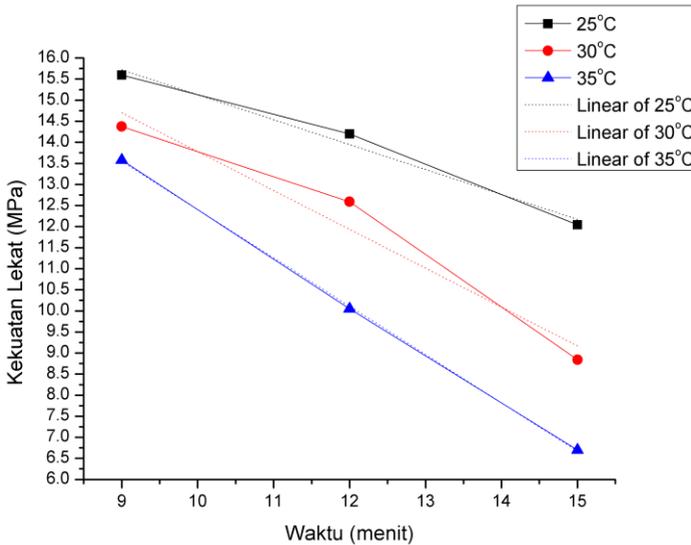
**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating terhadap Nilai Kekuatan Lekat Lapisan Seng

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu yang digunakan untuk proses elektroplating akan menurunkan nilai kekuatan lekat dari lapisan seng yang dihasilkan. Menurut Antunes dkk (2013) dengan meningkatnya lapisan *coating* yang dihasilkan maka akan menimbulkan tegangan permukaan yang lebih besar antara permukaan substrat dengan hasil *coating* sehingga kekuatan lekatnya akan menurun. Dalam penelitian ini diketahui bahwa meningkatnya temperatur dan waktu proses elektroplating akan meningkatkan ketebalan lapisan yang dihasilkan sehingga akan menurunkan kekuatan lekat antara lapisan *coating* dengan substrat.

Menurut Malek (2013) hasil lapisan yang dihasilkan harus memiliki kekuatan lekat lebih dari 7 MPa, kurang dari itu maka hasil lapisan akan ditolak. Dalam penelitian ini terdapat satu spesimen uji dengan nilai ketebalan di bawah 7 MPa yaitu sampel

C3 dengan nilai kekuatan lekat  $6,700 \pm 0.593$  MPa yang berarti hasil tersebut ditolak atau tidak dapat diterima karena tidak sesuai standar.

Berdasarkan data grafik pada Gambar 4.7 selanjutnya dibuat regresi linier seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8



**Gambar 4.8** Regresi Linier Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating Seng terhadap Kekuatan Lekat Lapisan Seng

Berdasarkan regresi linier pada Gambar 4.8 didapatkan persamaan matematik hubungan antara temperatur dan waktu elektroplating terhadap kekuatan lekat lapisan seng yang dihasilkan. Untuk proses elektroplating pada temperaur 25°C didapatkan persamaan sebagai berikut

$$y = -1.775x + 17.497 \dots\dots\dots(4.4)$$

untuk proses elektroplating pada temperatur 30°C didapatkan persamaan sebagai berikut

$$y = -2.7675x + 17.47 \dots\dots\dots(4.5)$$

untuk proses elektroplating pada temperatur 35°C didapatkan persamaan sebagai berikut

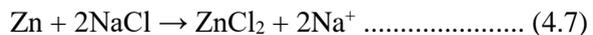
$$y = -3.44x + 16.99 \dots\dots\dots(4.6)$$

dimana y merupakan kekuatan lekat lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah waktu elektroplating. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan kekuatan lekat lapisan seng yang diinginkan dengan parameter proses yang telah ditentukan.

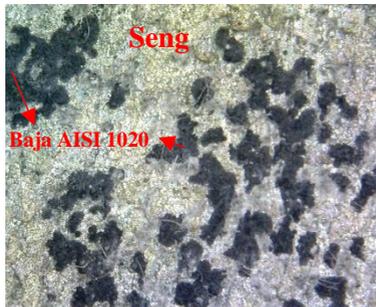
#### 4.5 Pengujian Laju Korosi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi atau seberapa cepat spesimen yang telah dilakukan pelapisan mengalami degradasi akibat pengaruh lingkungan. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode *immerse* atau perendaman dan perhitungan *weight loss*.

Selama proses *immerse* atau perendaman spesimen uji akan bereaksi dengan larutan air garam. Muhyidin (2016) menjelaskan bahwa reaksi yang terjadi antara lapisan seng dengan larutan garam adalah seperti Persamaan 4.7



Karena spesimen uji telah dilapisi dengan seng (Zn) maka yang bereaksi dengan larutan NaCl terlebih dulu adalah lapisan Zn. Lapisan Zn semakin lama akan terlepas dari spesimen uji karena bereaksi dengan NaCl membentuk ZnCl<sub>2</sub> sebagai produk korosi. Spesimen uji yang telah bereaksi dengan NaCl ditunjukkan oleh Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Pengamatan Hasil Proses Korosi Lapisan Seng

Setelah didapatkan berat akhir selanjutnya dilakukan perhitungan *weight loss* atau berat yang hilang. Hasil perhitungan *weight loss* ditunjukkan oleh Tabel 4.4

**Tabel 4.4** Hasil Perhitungan *Weight Loss*

Temperatur °C	Waktu (menit)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	<i>Weight loss</i> (gram)
25	9	49,8633	49,8557	0,0076
	12	50,2137	50,2073	0,0064
	15	52,1105	52,1043	0,0062
30	9	50,6750	50,6678	0,0072
	12	49,6191	49,6131	0,0060
	15	51,1863	51,1812	0,0051
35	9	46,6769	46,6769	0,0047
	12	50,8543	50,8505	0,0038
	15	48,9841	48,9805	0,0036

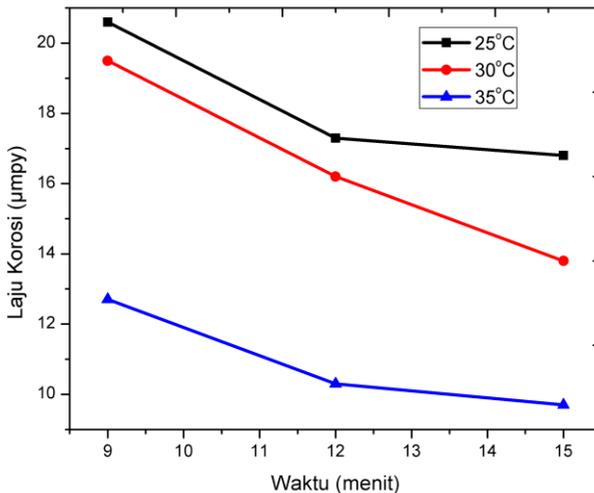
Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa *weight loss* atau massa yang berkurang sangat kecil. Dari nilai *weight loss* yang kita dapatkan ini kita dapat menentukan laju korosi dari masing-masing spesimen uji dengan menyelesaikan perhitungan laju korosi menggunakan metode *weight loss* sesuai dengan Persamaan 2.13.

Hasil perhitungan laju korosi menggunakan metode *weight loss* ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Laju Korosi Menggunakan Metode *Weight Loss*

Temperatur (°C)	Waktu (menit)	<i>Weight loss</i> (gram)	Laju Korosi (mmpy)
25	9	0,0076	0,0206
	12	0,0064	0,0173
	15	0,0062	0,0168
30	9	0,0072	0,0195
	12	0,0060	0,0162
	15	0,0051	0,0138
35	9	0,0047	0,0127
	12	0,0038	0,0103
	15	0,0036	0,0097

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa laju korosi dari masing masing spesimen uji memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Untuk sampel A1, A2, dan A3 didapatkan laju korosi secara berturut-turut yaitu 0,0206, 0,0173, dan 0,0168. Untuk sampel B1, B2, dan B3 didapatkan nilai laju korosi secara berturut-turut yaitu 0,0195, 0,0162, dan 0,0138. Untuk sampel C1, C2, dan C3 didapatkan nilai laju korosi secara berturut-turut yaitu 0,0127, 0,0103, dan 0,0097. Perbedaan laju korosi tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.10



**Gambar 4.10** Grafik Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating terhadap Nilai Laju Korosi Lapisan Seng

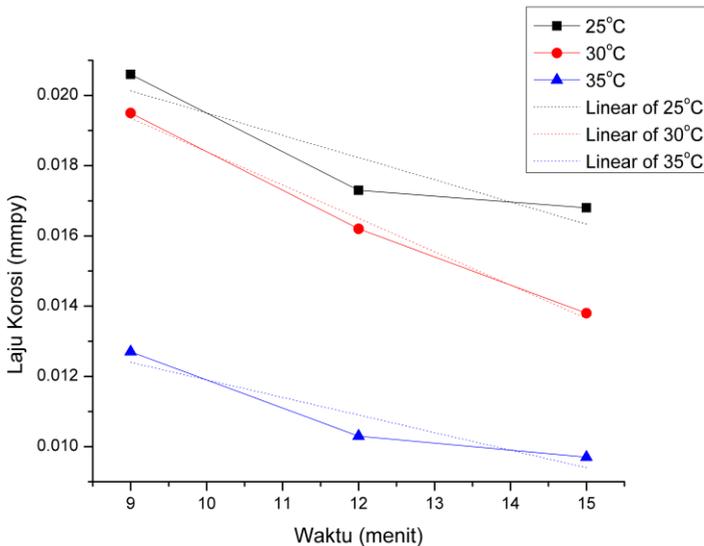
Berdasarkan Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu yang digunakan pada saat proses elektroplating maka nilai laju korosi yang dihasilkan semakin menurun. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu yang digunakan pada saat proses elektroplating maka ketahanan korosi yang dihasilkan akan meningkat.

Menurut Idora (2014) ketahan korosi dari sebuah baja yang dilapisi dengan seng tergantung pada ketebalan lapisan seng yang dihasilkan. Semakin tebal lapisan seng yang melapisi sebuah baja akan meningkatkan ketahanan korosinya. Sandoval (2017) juga menjelaskan bahwa ketebalan lapisan seng pada sebuah baja akan meningkatkan ketahan 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.

Berdasarkan ISO 19244 laju korosi dari semua sampel masuk kedalam kategori rendah karena semua laju korosi dari semua sampel berada pada rentang 0,0013 hingga 0,025 mmpy.

Berdasarkan data grafik pada Gambar 4.10 selanjutnya dibuat regresi linier seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11



**Gambar 4.11** Regresi Linier Hubungan Temperatur dan Waktu Elektroplating Seng terhadap Laju Korosi Lapisan Seng

Berdasarkan regresi linier pada Gambar 4.11 didapatkan persamaan matematik hubungan antara temperatur dan waktu elektroplating terhadap laju korosi lapisan seng yang dihasilkan. Untuk proses elektroplating pada temperaur 25°C didapatkan persamaan sebagai berikut

$$y = -0.0019x + 0.022 \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk proses elektroplating pada temperatur 30°C didapatkan persamaan sebagai berikut

$$y = -0.0028x + 0.0222 \dots\dots\dots(4.9)$$

untuk proses elektroplating pada temperatur 35°C didapatkan persamaan sebagai berikut

$$y = -0.0015x + 0.0139 \dots\dots\dots(4.10)$$

dimana y merupakan laju korosi lapisan seng yang dihasilkan dan x adalah waktu elektroplating. Dari persamaan tersebut dapat diperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan lapisan seng dengan laju korosi yang diinginkan.

#### 4.6 Penentuan Variasi Optimum

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan selanjutnya dilakukan metode skoring untuk menentukan hasil lapisan seng yang paling optimum dari berbagai variasi yang dihasilkan.

**Tabel 4.6** Hasil Skoring Lapisan Elektroplating Seng

Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Tebal	Kekuatan Lekat	Ketahanan korosi	Skor
25	9	1	8	1	8
	12	3	6	3	54
	15	6	3	4	72
30	9	2	7	2	28
	12	5	4	5	100
	15	8	1	6	48
35	9	4	5	7	140
	12	7	2	8	112
	15	9	0	9	0

---

Keterangan:

- Untuk nilai skoring ketebalan dan kekuatan lekat diberikan dengan mengurutkan dari nilai paling rendah (1) hingga paling tinggi (9)
- Untuk nilai skoring ketahanan korosi diberikan dengan mengurutkan dari nilai laju korosi paling tinggi (1) hingga paling rendah (9)
- Nilai ketebalan minimum yaitu 12  $\mu\text{m}$ , 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 Tabel 4.6 didapatkan lapisan seng hasil elektroplating yang memiliki hasil skor paling tinggi yaitu dengan variasi temperatur 35°C dan waktu 9 menit. Pada variasi ini hasil lapisan seng memiliki kombinasi ketebalan, kekuatan lekat, dan ketahanan korosi yang paling baik.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Semakin tinggi temperatur larutan elektrolit pada proses elektroplating seng maka:
  - a. Ketebalan lapisan seng semakin meningkat dengan nilai ketebalan paling tinggi sebesar  $28,13 \pm 1,34 \mu\text{m}$  pada temperatur  $35^{\circ}\text{C}$ .
  - b. Kekuatan lekat lapisan seng semakin menurun dengan nilai kekuatan lekat paling tinggi sebesar  $15,695 \pm 0,261 \text{ MPa}$  pada temperatur  $25^{\circ}\text{C}$ .
  - c. Ketahanan korosi meningkat dengan nilai laju korosi paling kecil sebesar  $0,0036 \text{ mmpy}$  pada temperatur  $35^{\circ}\text{C}$ .
2. Semakin lama waktu pencelupan pada proses elektroplating seng maka:
  - a. Ketebalan lapisan seng semakin meningkat dengan nilai ketebalan paling tinggi sebesar  $28,13 \pm 1,34 \mu\text{m}$  dengan waktu pencelupan 15 menit.
  - b. Kekuatan lekat lapisan seng semakin menurun dengan nilai kekuatan lekat paling tinggi sebesar  $15,695 \pm 0,261 \text{ MPa}$  dengan waktu pencelupan 9 menit.
  - c. Ketahanan korosi meningkat dengan nilai laju korosi paling kecil sebesar  $0,0036 \text{ mmpy}$  dengan waktu pencelupan 15 menit.

#### **5.2 Saran**

1. Preparasi dilakukan dengan pengamplasan yang lebih baik dan seragam agar hasil yang didapatkan lebih valid.
2. Melakukan pengujian SEM-EDX pada seluruh spesimen uji agar diketahui secara pasti perbedaan morfologi dan komposisi lapisan seng pada masing-masing spesimen uji.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 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.
- \_\_\_\_\_. 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.
- Adetunji, O.R. 2010. "Optimizing Hot Dip Galvanizing Operations of Steel Sheets for Better Quality". **Journal of Natural Sciences, Engineering, & Technology.** Vol : 9 No : 2.
- Alsultani, Kadhim F., dkk. 2016. **Characterization of Electroplating by Using Zn-Nano Sized Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as Composite Coatings.** Babylon University
- Andinata, Febryan, dkk. 2012. "Pengaruh pH Larutan Elektrolit terhadap Tebal Lapisan Elektroplating Nikel pada Baja ST 37". **Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya.** Vol. 2 No. 2 ISSN: 2087-9946. Surabaya.
- 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.

- 
- Arthoba, Yanjerappa, dkk. 2011. **Electrodeposition of Zinc from Chloride Solution**. Shankaraghatta: Kuvempu University
- Basmal, dkk. 2012. “Pengaruh Suhu dan Waktu Pelapisan Tembaga-Nikel Pada Baja Karbon Rendah Secara Elektroplating Terhadap Nilai Ketebalan dan Kekasaran”. **Jurnal ROTASI**. Vol. 14, No. 2.
- Callister, William. 2014. **Fundamentals of Materials Science and Engineering 9<sup>th</sup> Edition**. New Jersey : John Wiley & Sons Inc.
- Choe, Hong-Bok., dkk. 2015. **Studying the Effect of Spraying Metal Type and Epoxy Sealing Coating Application on the Anti-Corrosion Properties of Arc Thermal Metal Spraying Film**. Hanyang University.
- Clifford, Biddulph. 2011. **Zinc Electroplating**. Pavco Inc.
- Cornaglia, L. M., dkk. 2017. **Comprehensive Materials Finishing**. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral-CONICET
- Davis, J.R. 2001. **ASM Specialty Handbook Copper and Copper Alloys**. Ohio: ASM International Materials Park.
- Dry Film Thickness. **Catalogue Elcometer Inspection Equipment**. Elcometer Limited, 2016. Michigan, USA.
- Easton, M, dkk. 2013. **Corrosion-Resistant Electrochemical Plating of Magnesium (Mg) Alloys**. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Eliaz, K., dkk. 2010. “Electroplating and Characterization of Zn-Ni, Zn-Co and Zn-Ni-Co Alloys”. **Journal Surface & Coatings Technology**. Vol: 205.
- Ghofur, Abdul. 2015. **Industri Pengolahan Logam Zinc**. Pusat Studi Metalurgi Indonesia
- Giurlani, Walter., dkk. “Electroplating for Decorative Application: Recent Trends in Research and Development”. **Journal Coatings 2018**. Vol: 8.
- Goyal, Meenakshi. 2012. **Nonenvironmental Industrial Applications of Activated Carbon Adsorption**. Cambridge: Woodhead Publishing.
-

- 
- Gupta, H.N., dkk. 2009. **Manufacturing Processes: Second Edition**. New Delhi: New Age International (P) Limited Publisher.
- Harahap, Muhammad Ridwan. 2016. **Sel Elektrokimia: Karakteristik dan Aplikasi**. Kimia UIN Ar-Raniry. Banda Aceh
- Huang, Y dan Lou, H.H. 2016. **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.
- Kumar, Sunil, dkk. 2015. "Factor Effecting Electro-Deposition Process". **International Journal of Current Engineering and Technology**. Vol.5, No.2
- Milan, Paunovic dan Schlesinger Mordechay. 1998. **Fundamentals of Electrochemical Deposition**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Muhyidin, AM. 2016. **Pengaruh Penambahan Konsentrasi ZnSO<sub>4</sub> terhadap Ketebalan, Sifat Adhesif, dan Ketahanan Korosi pada Baja ASTM 213 T11 dengan Metode Elektroplating**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Ndariyono. 2011. **Pengaruh Temperatur Larutan Elektrolit, Rapat Arus Katoda Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan Pada Proses Elektroplating Tembaga-Nikel-Khrom**. Teknik Mesin FT-UNS. Surakarta.
- Pamungkas, Andhi Setyo., dkk. 2018. "Pengaruh Variasi Temperatur Elektroplating Terhadap Ketebalan Lapisan Nikel Baja ST37". **Jurnal MER-C**. Vol. 1 No. 2
- Paunovic, Milan., dkk. 2010. **Modern Electroplating, Fifth Edition**. New Jersey: John Wiley & Sons
- Prakosa, Teguh. 2016. **Penggunaan Multimedia Pembelajaran Untuk Meningkatkan Prestasi Belajar Pada Mata**
-

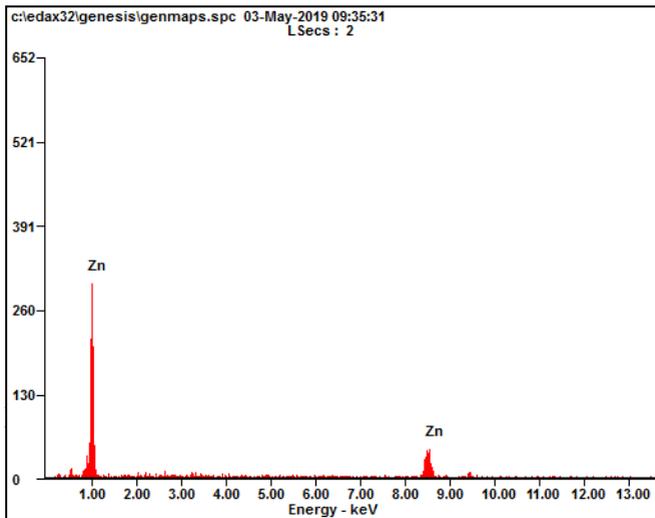
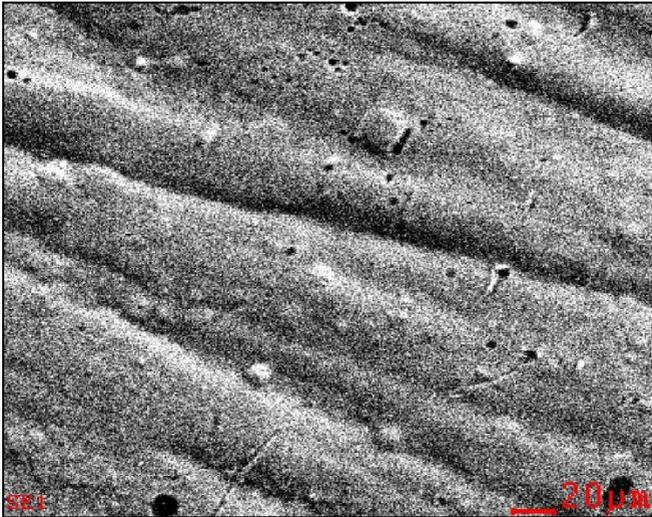
- 
- Kuliah Korosi dan Pelapisan Logam.** Universitas Pendidikan Indonesia
- Rakhit, A.K. 2013. **Heat Treatment of Gears: A Practical Guide for Engineers.** ASM International.
- Ridlwan, Abid Suyuti. 2016. **Pengaruh Jarak Anoda Katoda Teknik Elektroplating Seng Terhadap Ketebalan dan Kekerasan Hasil Lapisan.** Universitas Negeri Semarang.
- Roberge, Pierre R. 2012. **Handbook of Corrosion Engineering.** New York: McGraw-Hill.
- Robinson, J. S. 1979. **Corrosion Inhibitors.** United States
- Roza, Mella., dkk. 2013. “Kajian Sifat Konduktansi Membran Kitosan pada Berbagai Variasi Waktu Perendaman dalam Larutan Pb”. **Pillar of Physics.** Vol. 1:60-67.
- Sandoval, A. Amador., dkk. 2017. “The Effect of Zinc Thickness on Corrosion Film Breakdown of Colombian Galvanized Steel”. **Journal of Physics : Series 935**
- 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.
- Silberberg, Martin., dkk. 2014. **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change 7<sup>th</sup> Edition.** New York: Mc-Graw Hill.
- Siregar, F. L. 2010. **Pengaruh Keasaman (pH), Waktu terhadap Tebal dan Kecerahan Permukaan Emas Terhadap Tembaga.** Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Suarsa, I Wayan. 2017. **Pengembangan Bahan Ajar Teori Tumbukan pada Laju Reaksi Kimia.** Universitas Udayana.
- Suarsana. 2017. **Ilmu Material Teknik.** Teknik Mesin Universitas Udayana. Denpasar
- Verhoeven, J.D. 2017. **Steel Metallurgy for the Non-Metallurgist.** ASM International
-

- 
- Wiewiorowska, Sylwia., dan Zbigniew Musklaski. 2015. “The Application of Low and Medium Carbon Steel with Multiphase TRIP Structure in Drawing Industry”. **Jurnal Procedia Manufacturing** Vol. 2
- Yerikho, dkk. 2013. “Optimalisasi Variasi Tegangan dan Waktu Terhadap Ketebalan dan Adhesivitas Lapisan pada Plat Baja Karbon Rendah dengan Proses Electroplating Menggunakan Pelapis Seng”. **Jurnal Mekanika**. Vol. 11 No. 2.
- Yu, Y. D., dkk. 2013. **Influence of Bath Temperature on Zinc Plating and Passivation Process**. Hangzhou: China Jiang University
- Yulianto, Sudarmono Rizki., dan Edi Widodo. 2013. **Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Proses Pelapisan Nikel Khrom Terhadap Kualitas Ketebalan dan Kekerasan Pada Baja ST 40**. SNFT UMSIDA.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### Hasil Pengujian SEM-EDX



---

<i><b>Element</b></i>	<i><b>Wt%</b></i>	<i><b>At%</b></i>
<i><b>ZnK</b></i>	100.00	100.00
<i><b>Matrix</b></i>	Correction	ZAF

---

### Perhitungan Laju Korosi

$$\text{Corrosion Rate} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

$$K = 8,76 \times 10^4$$

$$W = \text{Weight loss}$$

$$A = 2(4,5 \times 4) + 2(4 \times 0,4) + 2(4,5 \times 0,4) = 42,8 \text{ cm}$$

$$T = 96 \text{ jam}$$

$$D = 7,87 \text{ gr/cm}^3$$

Temperatur	Waktu	Massa awal	Massa akhir	Weight loss	Laju Korosi
25	9	49.8633	49.8557	0.0076	0.020588654
	12	50.2137	50.2073	0.0064	0.017337814
	15	52.1105	52.1043	0.0062	0.016796008
30	9	50.675	50.6678	0.0072	0.019505041
	12	49.6191	49.6131	0.006	0.016254201
	15	51.1863	51.1812	0.0051	0.013851271
35	9	46.6816	46.6769	0.0047	0.012732457
	12	50.8543	50.8505	0.0038	0.010294327
	15	48.9841	48.9805	0.0036	0.009752521

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



“Handis”, itulah nama panggilan dari pria yang memiliki nama lengkap Handis Zuniandra ini. Pria yang berasal dari Salatiga ini merupakan putra ke-tiga dari pasangan Bapak Puji Rohmad dan Ibu Sri Ningsih Haryani. Pria yang lahir pada 20 Juni 1997 ini memulai pendidikannya dengan bersekolah di RA Nurul Huda 02, kemudian melanjutkan pendidikan dasarnya di SD N Smberejo 02. Setelah tamat pendidikan SD ia melanjutkan ke SMP N 2 Salatiga yang merupakan salah satu sekolah favorit di Salatiga kemudian melanjutkan ke SMA N 1 Salataiga yang mana merupakan SMA terbaik di Salatiga pada masanya, dan kini ia tengah menempuh bangku kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember di Surabaya. Pria yang gemar menyanyi ini mengembangkan bakatnya melalui sebuah grup band pada saat SMP, tim Paduan Suara saat SMA, dan ternyata ia juga pernah menjuarai lomba menyanyi lagu jawa atau yang sering disebut Macapat tingkat kecamatan pada saat di bangku Sekolah Dasar. Tak hanya mengembangkan hobi, Handis juga mengembangkan *softskillnya* dengan ia menjadi anggota OSIS saat SMA. Pada masa kuliah ia juga aktif dalam berbagai organisasi yaitu sebagai staff PSDM PSM ITS 2016/2017, staff BSO Minat Bakat HMMT FTI ITS 2016/2017, dan ia juga menjabat sebagai Kepala Divisi Event BSO Minat Bakat HMMT FTI ITS 2017/2018.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*