



**TUGAS AKHIR - TL 091584**

**PENGARUH WAKTU CELUP TERHADAP SIFAT  
ADHESIVE, KETEBALAN LAPISAN DAN  
KETAHANAN KOROSI PADA BAJA API 5L DENGAN  
METODE HOT DIP GALFAN (Zn-5%Al)**

Ibrahim  
NRP 2712 100 102

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

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



**FINAL PROJECT - TL 091584**

**EFFECT OF VARIATION IMMERSING TIME FOR  
ADHESION PROPERTIES, THICKNESS, AND  
CORROSION RESISTANCE OF COATING ON API 5L  
GRADE B WITH HOT DIP GALFAN (Zn-5%Al)  
METHOD**

Ibrahim  
NRP 2712 100 102

ADVISOR

Dr. Agung Purniawan., S.T., M. Eng.  
Wikan Jatimurti., S.T., M.Sc.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016

**PENGARUH WAKTU CELUP TERHADAP SIFAT *ADHESIVE*,  
KETEBALAN, DAN KETAHANAN KOROSI LAPISAN PADA BAJA API  
5L GRADE B DENGAN METODE GOT DIP GALFAN (Zn-5%Al)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Korosi Dan Analisa Kegagalan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Ibrahim**

2712100102

Disetujui oleh dosen pembimbing tugas akhir:

1. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng ..... (Pembimbing)
2. Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc ..... (Pembimbing)



Junji 2016

# EFFECT OF VARIATION IMMERSING TIME FOR ADHESION PROPERTIES, THICKNESS, AND CORROSION RESISTANCE OF COATING ON API 5L GRADE B WITH HOT DIP GALFAN (Zn-5%Al) METHOD

**Name** : Ibrahim  
**NRP** : 2712100102  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Lecturer** : Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng

## Abstract

*Steel is easily corroded in a corrosive environment. Coating is a method of corrosion protection for a steel. Hot dip galfan coating is able to be a solution for corrosion protection for a steel. The quality coating is determined by several factors, there are adhesive properties, thickness, and corrosion resistance of coating, all of whom are affected by immersion time. This research analyzed the effect of immersion time to the adhesive properties, thickness, and corrosion resistance of coating. The immersion time that used are 1,5,9, and 13 minutes at 450°C. This research has been evaluated by several test, there are SEM, Metallography, XRD, Thickness Test, Adhesive Test, and Weight loss. Based on the test results, the maximum thickness value is 288.9µm, maximum adhesive strength value is 8.05 Mpa, the most excellent corrosion resistance value is 0.0229 mmpy. The value of the thickness and properties of the resulting adhesive layer is affected by intermetallic formed. The immersion time of 1 minute has the microstructure intermetallic layer that is different than the other variable immersion time. Intermetallic compounds formed is Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>.*

*Key word: Hot dip Zn-5%Al, Immersion time, Adhesive strength, Corrosion resistance*

# **PENGARUH WAKTU CELUP TERHADAP SIFAT ADHESIVE, KETEBALAN, DAN KETAHANAN KOROSI LAPISAN PADA BAJA API 5L GRADE B DENGAN METODE GOT DIP GALFAN (Zn-5%Al)**

**Nama Mahasiswa** : Ibrahim  
**NRP** : 2712100102  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.

## **Abstrak**

*Baja menjadi sangat mudah terkorosi ketika berada dalam lingkungan yang korosif. Coating merupakan salah satu metode proteksi korosi untuk baja. Coating menggunakan metode hot dip galfan dapat dijadikan solusi untuk proteksi korosi pada baja. Kualitas hasil coating ditentukan oleh beberapa factor diantaranya adalah sifat adhesive, ketebalan dan ketahanan korosi, dimana ketiganya dipengaruhi oleh waktu pencelupan. Penelitian ini menganalisis pengaruh waktu celup terhadap sifat adhesive, ketebalan, dan ketahanan korosi lapisan. Waktu celup yang digunakan adalah 1,5,9, dan 13 meni pada temperatur 450°C. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian SEM, Metallography, XRD, Thickness Test, Adhesive Test, dan Weight loss. Berdasarkan hasil pengujian, nilai ketebalan maksimum adalah 288.9µm, nilai kekuatan adhesive maksimum adalah 8,05 Mpa, dan nilai ketahanan korosi yang paling optimum adalah 0.0229mmpy. Nilai ketebalan dan sifat adhesive yang dihasilkan dipengaruhi oleh intermetallic layer yang terbentuk. Waktu pencelupan 1 menit memiliki struktur mikro intermetallic layer yang berbeda dibandingkan dengan variable waktu celup yang lainnya. Senyawa intermetallic yang terbentuk adalah Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>.*

**Kata kunci:** Hot dip Zn-5%Al, waktu celup, Ketebalan, Sifat Adhesive, Ketahanan korosi

## DAFTAR ISI

### LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK ..... iii

**KATA PENGANTAR ..... vii**

DAFTAR ISI ..... ix

DAFTAR GAMBAR ..... xiii

**DAFTAR TABEL ..... xvii**

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Rumusan Masalah ..... 2

1.3 Batasan Masalah ..... 3

1.4 Tujuan Penelitian ..... 3

1.5 Manfaat Penelitian ..... 3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Pelapisan ..... 5

2.2 Hot Dipping ..... 6

    2.2.1 Hot Dip Zn-5%Al (Galfan) ..... 10

        2.2.1.1 Mikrostruktur Zn-5%Al (Galfan) ..... 13

    2.2.2 Ketebalan Coating ..... 13

    2.2.3 Difusi ..... 14

2.3 Logam Zinc (Zn) ..... 15

    2.3.1 Penggunaan Logam Zinc (Zn) ..... 16

2.4 Logam Alumunium ..... 17



3.3.6 Uji Ketebalan .....	38
3.3.7 Uji Kelekatan .....	38
3.3.8 Pengujian Laju Korosi .....	39
3.4 Rancangan Penelitian .....	40
3.5 Jadwal Penelitian .....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pengamatan Visual dan Mikro .....	43
4.1.1 Pengamatan Visual .....	43
4.1.2 Pengamatan Mikro .....	44
4.2 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> .....	47
4.3 Pengukuran Ketebalan Lapisan .....	50
4.4 Pengujian Kelekatan Lapisan .....	54
4.5 Pengujian Ketahanan Korosi .....	59
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Microstructure dari Continuous Hot dip Galvanizing .....	10
<b>Gambar 2.2.</b> Diagram Fasa Al-Zn. ....	11
<b>Gambar 2.3.</b> Baja Galfan dan Galvanisasi 7 Tahun dalam Lingkungan Maritime .....	12
<b>Gambar 2.4.</b> Struktur Mikro Lapisan Galfan dengan Waktu Celup 32 Detik .....	13
<b>Gambar 2.5.</b> Mekanisme (a) Difusi Vakansi (b) Difusi Interstisi .....	15
<b>Gambar 2.6.</b> Faktor yang Mempengaruhi Korosi dari <i>Engineering Material</i> .....	19
<b>Gambar 2.7.</b> Faktor yang Mempengaruhi Ketahanan Korosi logam.....	19
<b>Gambar 2.8.</b> Struktur Mikro Galfan <i>Coating</i> .....	27
<b>Gambar 2.9.</b> Hasil SEM dari lapisan 5%Al-Zn.....	27
<b>Gambar 2.10.</b> Variasi Potensial Korosi dari Baja yang Dilapisi 5%Al-Zn.....	28
<b>Gambar 2.11.</b> Variasi Densitas Arus Korosi dari Baja yang Dilapisi 5%Al-Zn dalam 3% NaCl.....	29
<b>Gambar 3.1.</b> Diagram Alir Penelitian.....	31
<b>Gambar 3.2.</b> Alumunium Seri 6061 .....	32
<b>Gambar 3.3.</b> Anode Seng .....	32

<b>Gambar 3.4.</b> Electric Furnace .....	33
<b>Gambar 3.5.</b> Alat SEM .....	33
<b>Gambar 3.6.</b> Alat Uji DFT .....	34
<b>Gambar 3.7.</b> Alat XRD .....	34
<b>Gambar 3.8.</b> Alat <i>Pulloff</i> ( <i>Adhesion Tester</i> ) .....	35
<b>Gambar 4.1.</b> (a) Spesimen Uji Sebelum <i>dicoating</i> (b) Spesimen Uji Setelah <i>dicoating</i> .....	43
<b>Gambar 4.2.</b> (a) Gambar Cross Section dengan Perbesaran 100x (b) Perbesaran 150x waktu celup 5 menit .....	44
<b>Gambar 4.3.</b> Struktur Mikro Galfan Coating untuk Semua Variabel (a) 1 Menit, (b) 5 Menit, (c) 9 Menit, (d) 13 Menit dengan Perbesaran 10x .....	45
<b>Gambar 4.4.</b> Mekanisme Difusi Substitusi .....	46
<b>Gambar 4.5.</b> Struktur Mikro Lapisan Galfan 9 menit dengan Perbesaran 20x .....	47
<b>Gambar 4.6.</b> Grafik Hasil Pengujian XRD Spesimen Uji 13 menit <i>Cross Section</i> .....	48
<b>Gambar 4.7.</b> Grafik Hasil Pengujian XRD Spesimen Uji 13 menit <i>Surface</i> .....	48
<b>Gambar 4.8.</b> Grafik Nilai Ketebalan Lapisan dengan Variasi Waktu Celup 1, 5, 9, dan 13 menit .....	53
<b>Gambar 4.9.</b> Grafik Nilai Kelekatan Untuk Semua Variabel Waktu Celup .....	57
<b>Gambar 4.10.</b> Spesimen Uji Setelah Pengujian <i>Pulloff</i> .....	57

<b>Gambar 4.11.</b> Perbedaan Cohesion dan Adhesion Failure .....	59
<b>Gambar 4.12.</b> Spesimen Uji Setelah Pengujian Korosi .....	62
<b>Gambar 4.13.</b> Morfologi Permukaan Lapisan Galfan (a) Sebelum dan (b) Setelah Terkorosi dalam NaCl 3,5% dengan Perbesaran 300x Variabel Waktu Celup 5 Menit .	62
<b>Gambar 4.14.</b> Grafik Pengujian Laju Korosi.....	63

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b> Proses <i>Coating</i> yang Digunakan untuk Perlindungan Permukaan .....	6
<b>Tabel 2.2.</b> Aplikasi Hot Dip Coating .....	9
<b>Tabel 2.3.</b> Hasil Pelapisan Galfan 5 Tahun di Lingkungan Terbuka .....	11
<b>Tabel 2.4.</b> Perbandingan Proteksi Katodik untuk Pelapisan Galfan dan Galvanizing .....	12
<b>Tabel 2.5.</b> Sifat Logam Transisi .....	16
<b>Tabel 2.6.</b> Potensial Reduksi Baku .....	16
<b>Tabel 2.7.</b> Sifat-sifat Fisik Alumunium .....	18
<b>Tabel 2.8.</b> Komposisi Kimia Baja API 5L .....	26
<b>Tabel 2.9.</b> Komposisi Kimia Lapisan 5%Al-Zn.....	27
<b>Tabel 2.10.</b> Hasil Uji X-ray Diffraction Saat Pencelupan 128 Detik.....	30
<b>Tabel 2.11.</b> Komposisi Kimia dari Fasa Intermetallic.....	30
<b>Tabel 3.1.</b> Rencana Penelitian.....	40
<b>Tabel 3.2.</b> Timeline Penelitian .....	41
<b>Tabel 4.1.</b> Hasil Perhitungan Besar Ukuran Kristal .....	49
<b>Tabel 4.2.</b> Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan .....	51
<b>Tabel 4.3.</b> Hasil Pengukuran Kekuatan <i>Adhesive</i> Lapisan .....	55
<b>Tabel 4.4.</b> Data Hasil Pengujian Laju Korosi.....	60

<b>Tabel 4.5.</b> Laju Korosi yang Diukur dalam g /cm <sup>2</sup> /tahun untuk Lima Kelas yang Berbeda.....	61
--	----

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas merupakan industri sumber daya energi terbesar di dunia. Kebutuhan minyak dan gas yang terus meningkat setiap tahunnya menjadi alasan bagi industri minyak dan gas di dunia secara terus menerus melakukan proses eksplorasi dan eksploitasi sumber daya minyak dan gas. Pertumbuhan industri minyak dan gas di Indonesia sangatlah cepat. Dalam dunia industri minyak dan gas, peristiwa korosi merupakan peristiwa yang sangat sering terjadi. Korosi adalah kerusakan pada suatu material akibat bereaksi dengan lingkungan. (Fontana, 1968). Pipa penyalur merupakan salah satu komponen yang sangat dibutuhkan dalam industri minyak dan gas. Salah satu jenis baja yang digunakan untuk aplikasi *pipeline* adalah Baja API 5L. Kehadiran korosi dalam pipa penyalur yang terbuat dari logam (baja) di dunia industri minyak dan gas ini sendiri merupakan hal yang tidak diinginkan karena sangat merugikan, baik dari segi ekonomi ataupun keselamatan kerja. Miliaran dolar yang dihabiskan setiap tahunnya untuk mengganti struktur, mesin, dan komponen, yang terkorosi termasuk atap logam, tabung kondensator, pipa, dan banyak item lain. (Schweitzer, 2007). Salah satu penyebab korosi adalah faktor lingkungan, lingkungan yang korosif dapat mengakibatkan logam terkorosi.

Baja merupakan logam yang sangat sering digunakan dalam komponen-komponen alat di dunia industri minyak dan gas. Dalam aplikasinya di industri minyak dan gas baja digunakan hampir di semua komponen peralatan yang digunakan, diantaranya adalah pipa penyalur, *Storage tank*, konstruksi *platform offshore*, dan lain sebagainya. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem proteksi bagi baja yang digunakan oleh industri minyak dan gas dalam lingkungan yang korosif. Ada banyak cara yang digunakan untuk memproteksi baja dari korosi,

diantaranya adalah *coating* (pelapisan). *Coating* atau pelapisan adalah cara yang paling sering digunakan untuk mengatasi korosi (Kurniawan, 2015).

Hot Dip galvanizing merupakan salah satu metode teknik pelapisan (*coating*) dengan menggunakan konsep anoda tumbal untuk melindungi suatu logam dari korosi. Hot Dip Galvanizing menggunakan unsur Seng (Zn) sebagai anoda tumbal untuk memproteksi baja dari korosi. Dengan metode Hot Dip ini sering digunakan untuk material-material (baja) yang berukuran besar seperti pipa, plat, dan lain sebagainya. Penggunaan Seng (Zn) sebagai anoda tumbal dikarenakan Seng (Zn) memiliki nilai potensial elektroda yang lebih rendah dibandingkan dengan baja sehingga baja terproteksi dari korosi dalam lingkungan yang korosif. Hot dip galvanizing adalah proses pelapisan baja menggunakan pelapis logam yang memiliki titik lebur lebih rendah dari pada titik lebur baja. Proses galvanizing digunakan cara pencelupan baja ke dalam lelehan *zinc* pada temperatur 450°C sehingga terbentuk ikatan metalurgi antara zinc cair dengan permukaan baja menghasilkan lapisan intermetalik paduan Fe – Zn.(Yulianto, 2012).

Dalam penelitian kali ini Hot Dip Galvanizing ditambahkan dengan 5% unsur aluminium (Al) dengan variasi waktu pencelupan. Penggunaan unsur aluminium karena aluminium memiliki kemampuan proteksi yang lebih baik dari seng (Zn). Anoda korban aluminium mempunyai kelebihan yaitu *reliability* yang lebih lama dan juga mempunyai karakteristik arus dan berat yang lebih ringan dibandingkan dengan anoda korban paduan seng (Tsai, 1995).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dirumuskan beberapa masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh waktu celup pada proses hot dip Zn-5%Al terhadap ketebalan lapisan?
-

2. Bagaimana pengaruh waktu celup pada proses hot dip Zn-5%Al terhadap sifat adhesive lapisan?
3. Bagaimana pengaruh waktu celup pada proses hot dip Zn-5%Al terhadap sifat ketahanan korosi lapisan?

### 1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengaruh lingkungan terhadap proses hot dip diabaikan
2. Komposisi kimia logam cair dianggap homogen
3. Temperature proses dianggap konstan

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh waktu celup terhadap ketebalan lapisan
2. Menganalisis pengaruh waktu celup terhadap sifat adhesive lapisan
3. Menganalisis pengaruh waktu celup terhadap ketahanan korosi lapisan

### 1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Zn-5%Al dapat dijadikan sebagai material pelapisan alternative bagi industri baja yang diaplikasikan dalam lingkungan air laut.
  2. Diketahui pengaruh waktu celup Zn-5%Al terhadap ketebalan lapisan, sifat adhesive, dan sifat ketahanan korosi pada baja karbonrendah dalam lingkungan air laut.
-

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teknologi Pelapisan (*coating*)

Perlindungan korosi struktur di bawah tanah ataupun di atas tanah dengan menggunakan metode pelapisan adalah salah satu dari beberapa metode yang ada. Metode lain termasuk proteksi katodik, modifikasi lingkungan, pemilihan dan desain material. Pelapisan yang memiliki ketahanan korosi yang baik harus memiliki karakteristik sebagai berikut (Ahmad, 2006):

- Memiliki nilai kerekatan yang tinggi
- Diskontinuitas minimum pada pelapisan (porositas)
- Ketahanan terhadap aliran electron yang tinggi
- Ketebalan yang cukup
- Laju difusi ion seperti  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang rendah

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

Desain dari teknologi pelapisan dan kualitas yang diinginkan dari proses pelapisan hanya bekerja maksimal jika sifat spesifik dari zat tersebut ikut diperhitungkan. Sifat kimia dan morfologi permukaan material sama pentingnya dengan desain, metode penyambungan dan konstruksi dari objek yang dilindungi. Objek yang dilapisi, *pretreatment*, dan proses pelapisan yang aktual harus dengan optimal dikoordinasikan. *Pretreatment* selanjutnya diikuti dengan proses *coating*, *drying and curing* dari material tersebut. Jalur aplikasi ini mengandung suatu bagian yang bekerja dengan udara yang dikondisikan dan material *coating* yang berbentuk cair atau bubuk, *coating* material berbentuk padat dapat diubah menjadi secara homogen tipis, kuat secara mekanik. Dalam hal ini dapat berupa *brush*, *roller*, *dip*, *flood*, *curtain* atau *spray coating*. (Goldschmidt, 2007)

Beberapa proses *coating* dapat dilihat di Tabel 2.1.



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

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

## 2.2 Hot Dipping

*Hot dipping* adalah proses tertua dan terpopuler. Dalam proses *hot dipping*, logam dasar dilapisi dengan mencelupkannya ke dalam wadah logam cair. Maka dari itu, titik lebur dari logam pelapis harus lebih rendah dari logam dasar yang ingin dilapisi. Logam korban, kecuali mangan, cocok untuk pelapisan logam dengan metode *hot dipping*. Plat tipis dan *wire* dilapisi dengan



---

proses *continuous hot dipping*, dan logam cetakan, pipa, dan *forgings* dilapisi dengan proses batch. Reaksi yang cepat dari logam cair dengan logam dasar dibutuhkan untuk menghasilkan ikatan lapisan logam yang baik. Maka dari itu, proses *pretreatment* sangatlah penting. Proses *pretreatment* seperti langkah-langkah berikut:

*Degreasing* → *Pickling* → *Water rinsing* → *Fluxing or reducing* → *Hot dipping*

*Degreasing* adalah pembersihan menggunakan larutan pembersih atau pembersih alkali. Larutan pembersih cocok untuk logam, kecuali besi, yang cepat larut dalam larutan alkali. Jenis larutan yang digunakan adalah gasoline, benzene, trichloroethylene, atau perchloroethylene. Pembersih alkali digunakan untuk menghilangkan minyak dan lemak di atas permukaan dari besi atau baja. Larutan pembersih alkali yang digunakan meliputi sodium hidroksida, sodium karbonat, sodium silikat, orthosodium silikat, sodium posfat, dan kombinasi lainnya. Setelah dibersihkan, permukaan dicuci menggunakan air.

*Pickling* adalah pembersihan dengan mencelupkan kedalam larutan asam yang diagitasi. 10-20% konsentrasi dari asam *hydrochloric* pada temperature ruang atau 5-15% konsentrasi dari asam *sulfuric* pada temperatur 140-175°F (60-80°C) digunakan untuk besi atau baja. *Fluxing* digunakan pada kedua proses batch dan *continuous hot dipping*. Dalam pelapisan zink, paduan didapat dengan menghilangkan FeO di dalam substrat baja dan ZnO di dalam permukaan logam zink cair dengan flux dari  $ZnCl_2$  dan  $NH_4Cl$ .

Dalam proses *hot dipping*, ketika substrat logam dicelupkan ke dalam logam cair, lapisan paduan terbentuk pada *interface* dengan difusi dari kedua substrat logam dan logam cair. Pelekatan dari hasil pelapisan dari lapisan antara lapisan paduan. Kondisi dari lapisan paduan sangat mempengaruhi kekuatan mekanik dan sifat kimia dari lapisan *coating*, jadi lapisan paduan ditentukan

---



---

berdasarkan tujuan dari penggunaannya. (Schweitzer, 2006). Hot dip galvanizing adalah suatu metode pelapisan pada baja dengan menggunakan cairan seng untuk melapisi baja. Metode hot dip galvanizing banyak digunakan karena metodenya yang cepat dan mudah dalam proses pelapisannya. Keuntungan hot dip galvanizing.

1. Ikatan metalurgi antara baja dengan lapisan-lapisan logam yang terbentuk, yang memberikan daya tahan tinggi terhadap korosi
2. Perlindungan menyeluruh artinya lapisan galvanis mampu melindungi semua permukaan baja
3. Dapat dikerjakan dalam bentuk cuaca apapun sehingga memungkinkan setiap proyek dapat diselesaikan dengan tepat waktu
4. Inpeksi yang sederhana cepat dan tidak membutuhkan tenaga kerja yang banyak
5. Perlindungan katodik

Galvanis merupakan salah satu pilihan yang tepat dan menguntungkan setelah melalui proses penelitian secara seksama galvanis menjadi alternatif pertama dan banyak penggunaannya untuk mencegah korosi agar baja menjadi tahan lama serta memberikan keuntungan berupa nilai ekonomis yang cukup tinggi. (Saripudin, 2010).

Hot dip Zn coating telah digunakan untuk mencegah korosi pada baja struktur dan baja lembaran lebih dari 200 tahun, tetapi Hot dip coating memiliki cacat penting di dalam strukturnya. Hot dip Zn memiliki fasa  $\eta$  (Zn),  $\text{FeZn}_{13}$ ,  $\delta_1$  ( $\text{FeZn}_{10}$ ),  $\gamma$  ( $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$ ). Fasa  $\eta$  memiliki fungsi sebagai *sacrificial dissolution*, sedangkan fasa yang lain tidak memiliki fungsi *sacrificial dissolution*. Pelapisan Hotdip Zn baja struktur diaplikasikan pada tiang-tiang lalulintas, struktur jembatan, tower transmisi elektrik. (Tachibana, 2007)

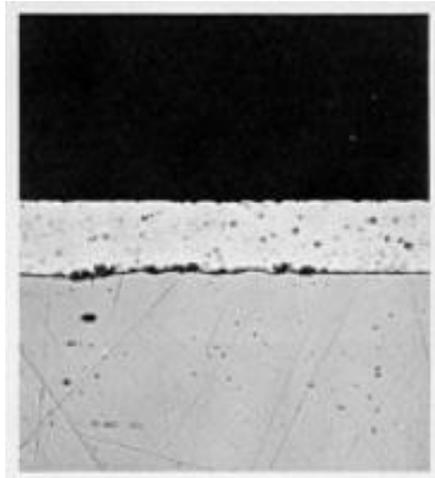
---



**Tabel 2.2** Aplikasi Hot Dip Coating (Wilhelm, 2004)

Product	Abbreviation	Coating structure	Composition	Typical deposit in g/m <sup>2</sup>	Applications
Hot dip zinc	Z	Zn/steel	100% Zn approx. 0.2% Al	100-600, standard 275	interior and external parts of car bodies roof and wall elements in building construction castings, mountings, and supporting structures in systems engineering base material for organic coatings air conditioning technology household appliances
Galvannealed zinc	ZF	ZnFe/steel	90% Zn 10% Fe approx. 0.12% Al	cf. hot dip zinc	parts from shell of car body stoneguard underbody
Galfan	ZA	ZnAl/steel	95% Zn 5% Al	95-255	roof and wall elements complex deep draw parts
Galvalume	AZ	AlZn/steel	55% Al 43,5% Zn 1,5% Si	85-160	roof and wall elements constructional elements subject to particular corrosion attack in acid environments
Type 1 hot-dip aluminium	AS	AlSi/steel	90% Al 10% Si	50-250	outlet systems household appliances
Type 2 hot-dip aluminium	A	Al/steel	100% Al	200-300	roof and wall elements
Hot-dip lead/tin	TE	PbSn/steel	8-11% Sn 1-3% Sb rest Pb	75-150	fuel tanks

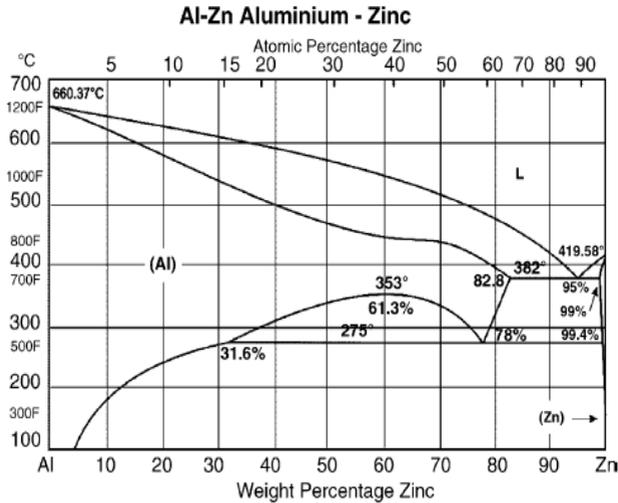
*Coating* hot dip zink memiliki beberapa lapisan (*layers*). Dimulai dari permukaan baja, lapisan lainnya adalah paduan besi-zink dengan kadungan besi yang rendah sampai dengan lapisan terluar yaitu seluruhnya zink sudah didapat. Dalam *continuous galvanizing*, bagaimanapun, adalah dengan menambahkan 0.1-2% Al, yang menghilangkan susunan lapisan paduan sehingga pelapisan menjadi zink seluruhnya.



**Gambar 2.1.** *Microstructure* dari *Continuous Hot dip Galvanizing*. (ASM Hand Book vol.13, 1992).

### 2.2.1 Hot Dip Zn-5% Al (Galfan)

Aluminium jika digunakan dalam jumlah yang besar maka memperbaiki sifat ketahanan korosi. Hal ini menyebabkan pelapisan Zn-Al dikembangkan, dengan mengkombinasikan ketahanan korosi yang baik dari Al dan proteksi galvanik dari Zinc. Dewasa ini, paduan hot dip galvanizing dengan 5% dan 55% Al sudah muali banyak digunakan. Paduan 5% Al memiliki beberapa keuntungan penting yang bisa ditawarkan, yang pertama adalah karena komposisi eutektiknya, dan memiliki temperature leleh yang rendah yaitu 382°C dan memiliki fluiditas yang tinggi. Yang kedua adalah, *coating* memiliki keuletan yang tinggi. (Rocha, 1991).



**Gambar 2.2** Diagram Fasa Al-Zn. (Riuper, 2004)

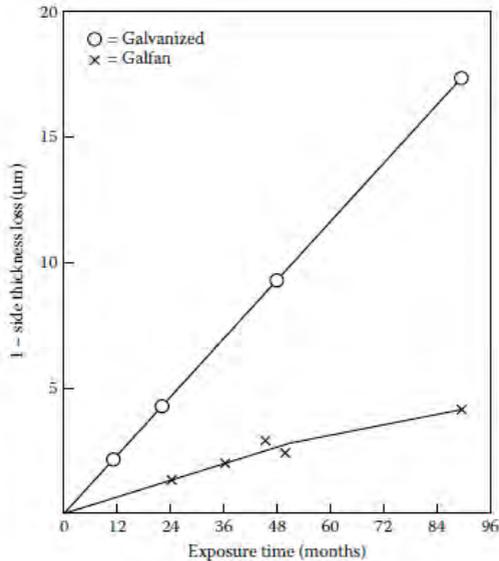
Pelapisan *zinc* dengan paduan ini disebut galfan. Galfan *coating* memiliki ketahanan korosi hingga tiga kali dari baja galvanizing. Perbedaan dasar antara kedua jenis pelapisan ini adalah derajat kemampuan proteksi katodiknya. Peningkatan proteksi korosi ini terlihat jelas dalam lingkungan industry perkotaan dan lingkungan kelautan, seperti dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

**Tabel 2.3.** Hasil Pelapisan Galfan 5 tahun di lingkungan terbuka. (Schweitzer, 2006)

Atmosphere	Thickness Loss (µm)		Ratio of improvermer
	Galvanized	Galfan	
Industrial	15.0	5.2	2.9
Sever marine	>20.0	9.5	>2.1
Marine	12.5	7.5	1.7
Rural	10.5	3.0	3.5



bagian terakhir sangat signifikan karena, tidak seperti galvanizing, laju korosi terlihat melambat setelah 4 tahun, dan baja galvanized konvensional terlihat rusak setelah 5 tahun (lihat gambar 2.2).



**Gambar 2.3.** Baja Galfan dan Galvanisasi 7 Tahun dalam Lingkungan Maritime. (Schweitzer, 2006)

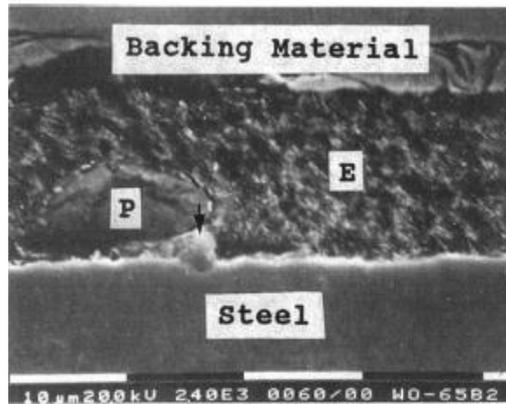
**Tabel 2.4.** Perbandingan Proteksi Katodik untuk Pelapisan Galfan dan Galvanizing. (Schweitzer, 2006)

Environment	Amount (mm) of bare edge exposed after 3 years (coating recession from edge)	
	Galvanized	Galfan
Severe Marine	1.6	0.1
Marine	0.5	0.06
Industrial	0.5	0.05
Rural	0.1	0



### 2.2.1.1 Mikrostruktur Zn-5%Al (Galfan)

Mikrostruktur dari lapisan galfan dapat dilihat pada Gambar 2.3 setelah baja dicelupkan ke dalam logam Zn-5%Al selama 32 detik, pada permukaan substrat baja tidak ditemukan lapisan intermetalik (lapisan belum terbentuk), meskipun sudah terlihat inti dari lapisan intermetalik dengan ukuran yang masih sangat kecil. Setelah baja diangkat dari logam cair lalu baja didinginkan sehingga lapisan galfan mengalami proses solidifikasi dimana lapisan eutektik sudah tumbuh dari arah terluar substrat dan proeutectic zink menjadi lapisan yang paling dekat dengan substrat baja. Proses solidifikasi lapisan galfan diawali dengan proses pengintian fasa (*nucleation*) selanjutnya fasa tumbuh (*growth*), proses ini terjadi di antara substrat dengan logam cair.



**Gambar 2.4.** Struktur Mikro Lapisan Galfan dengan Waktu Celup 32 Detik (Rocha, 1990).

### 2.2.2 Ketebalan Coating

Ketebalan dari proses *coating* adalah jarak normal antara permukaan logam dasar dan lapisan luar dari *coating*. Untuk keperluan praktik, direkomendasikan untuk menentukan ukuran maksimal dari daerah *coating*, yang diperhitungkan juga dengan biaya produksi minimal. Ketebalan *coating* merupakan salah satu karakteristik dari teknologi pelapisan yang digunakan, ketebalan



*coating* mempengaruhi berbagai sifat penting dari lapisan, seperti kekuatan ikatan antara *coating* dan logam dasar. Peningkatan ketebalan diatas titik maksimal ketebalan tidak hanya memberikan efek yang buruk terhadap sifat hasil *coating*, tetapi juga berdampak terhadap biaya. (Tushinsky, 2002).

Ketebalan deposit dapat dievaluasi dengan cara mempertimbangkan volume dari deposit. Karena volume dari deposit merupakan produk dari luas area *plated surface* dan ketebalan (tinggi)  $h$ , dengan  $h = V/a$ . Volume dari deposit berhubungan dengan tinggi dari deposit dan densitas dari deposit  $d$  dengan hubungan yang mendefinisikan densitas  $d = w/V$ , maka

$$h = V/av = w/ad$$

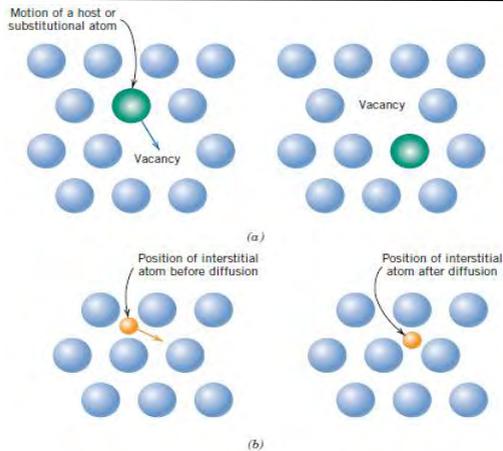
Dalam kasus dimana diperlukan untuk menghitung waktu (dalam detik) yang dibutuhkan untuk mendapatkan ketebalan deposit yang diinginkan  $h$  pada rapat arus yang ditentukan maka digunakan hukum faraday dan mendapatkan

$$h = w/ad = ZQ / ad = Zit \text{ cm/ad}$$

$$t = had \text{ s/ (Paunovic, 2010).}$$

### 2.2.3 Difusi

Perlakuan panas dapat diberikan pada berbagai material dengan tujuan untuk memperbaiki sifatnya. Fenomena yang terjadi ketika proses perlakuan panas seringkali melibatkan difusi atom. Proses difusi adalah proses perpindahan material yang melibatkan pergerakan atom. Proses difusi dapat dikatakan *diffusion couple* yang terjadi pada dua logam yang berbeda yang disambungkan sehingga kedua logam tersebut saling bersentuhan. Diantara bmodel pergerakan atom yang mungkin terjadi adalah difusi vakansi dan difusi intersisi. Difusi vakansi terjadi karena adanya kekosongan pada *lattice* sehingga atom dari *lattice* lain mengisi ruang kosong tersebut. Proses *self-diffusion* dan *interdiffusion* keduanya merupakan difusi vakansi. Difusi intersisi adalah difusi yang disebabkan ukuran atom yang berdifusi berukuran lebih kecil dan mengisi ruang kosong di antara atom-atom induk.



**Gambar 2.5.** Mekanisme (a) Difusi Vakansi (b) Difusi Interstisi. (Callister, 2010)

### 2.3 Logam Zinc (Zn)

Zink adalah logam yang putih-kebiruan; logam ini cukup mudah ditempa dan liat pada 110-150°C. Zink melebur pada 410°C dan mendidih pada 906°C. Logamnya yang murni melarut lambat sekali dalam asam dan dalam alkali; adanya zat-zat pencemar atau kontak dengan platinum atau tembaga, yang dihasilkan oleh penambahan beberapa tetes larutan garam dari logam-logam ini, mempercepat reaksi. Ini menjelaskan larutnya zink-zink komersial. Yang terakhir ini dengan mudah larut dalam asam klorida encer dan asam sulfat encer dengan mengeluarkan hydrogen. (Vogel, 1979). Zink mudah digunakan untuk metode elektrokimia, dengan *hot dip*, dan dengan *thermal spray*. Pelapisan elektrokimia relative lebih tipis, biasanya hingga mencapai 25  $\mu\text{m}$ , dan biasanya dalam banyak kasus dilakukan *post-treated* dengan proses *converting* seperti chromating, yang memberikan warna kuning, biru, atau pewarnaan. Hot dipped zinc biasanya memiliki ketebalan 80-100  $\mu\text{m}$ , dan untuk *thermal spray* dalam kisaran 100-200  $\mu\text{m}$ , dan kedua metode ini dapat



memberikan perlindungan dalam kondisi tertentu untuk waktu yang cukup lama. (Bardal, 2003)

**Tabel 2.5.** Sifat logam transisi (Ulfin, 2010)

Titik leleh ( $^{\circ}\text{C}$ )	420 $^{\circ}\text{C}$
Titik Didih ( $^{\circ}\text{C}$ )	907 $^{\circ}\text{C}$
Densitas ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	7.13
Jari-jari atom	1.34
Jari-jari ion	0.74
Elektronegatifitas $E^{\circ}$ (volt)	1.6
$\text{M}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{M}_{(\text{s})}$	-0.76
Ei ionisasi ( $\text{kJ}/\text{mol}$ )	906
$\text{M}^{+}_{(\text{g})} \rightarrow \text{M}^{2+}_{(\text{g})} + \text{e}$	1733

**Tabel 2.6** Potensial reduksi baku (Trethewey, 1991)

pasangan	$E^{\circ} / V$
$\text{F}_2(\text{g}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{F}^{-}(\text{aq})$	+2.87
$\text{H}_2\text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}^{+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.77
$\text{Ce}^{4+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ce}^{3+}(\text{aq})$	+1.72
$\text{MnO}_2^{-}(\text{aq}) + 8\text{H}^{+}(\text{aq}) + 5\text{e}^{-} \rightarrow \text{Mn}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.51
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$	+1.36
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^{+}(\text{aq}) + 4\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	+1.23
$\text{Br}_2(\text{l}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow 2\text{Br}^{-}(\text{aq})$	+1.09
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	+0.77
$\text{AgCl}(\text{s}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Ag}(\text{s}) + \text{Cl}^{-}(\text{aq})$	+0.22
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}^{+}(\text{aq})$	+0.15
$2\text{H}^{+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0
$\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$	-0.14
$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0.45
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0.76
$\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^{-} \rightarrow \text{Al}(\text{s})$	-1.66
$\text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Mg}(\text{s})$	-2.37
$\text{Na}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Na}(\text{s})$	-2.71
$\text{Li}^{+}(\text{aq}) + \text{e}^{-} \rightarrow \text{Li}(\text{s})$	-3.04



---

### 2.3.1 Penggunaan Logam Zinc (Zn)

*Zinc* adalah salah satu logam non-ferrous yang sangat penting, digunakan sebagai logam pelapis. *Zinc* seperti aluminium, dalam lingkungan atmosfer cenderung menjadi asam dan alkali. *Zinc* dan *zinc* pelapis cepat terkorosi dalam lingkungan atmosfer membentuk produk korosi yang berwarna putih. Oleh karena itu dibutuhkan proteksi dalam lingkungan asam atau alkali untuk mencegah terjadinya korosi. (R. A. Prabhu, 2012). *Zinc* pelapis atau baja *galvanizing* digunakan sebagai bahan pokok dari pembuatan *body* kendaraan. Baja *galvanizing* untuk industri otomotif biasanya diproduksi menggunakan metode elektrodposisi atau hot dip. Elektrodposisi menghasilkan lapisan *zinc* murni pada substrat baja. Hot dip galvanisasi merupakan pencelupan baja ke dalam logam *zinc* cair. Pada pelapisan hot dip galvanisasi ditambahkan unsur tambahan seperti aluminium atau silikon yang dimasukkan ke dalam logam *zinc* cair untuk menghasilkan lapisan *intermetallic* zink-besi. (Hosking, 2007)

### 1.4 Logam Aluminium (Al)

Aluminium adalah logam yang ringan., ketahanan korosi dari suatu material menjadi lebih baik jika dipadukan dengan aluminium, dipengaruhi oleh komposisinya, menjadi paduan yang kuat dengan perlakuan panas atau *cold work*. Diantara keuntungan untuk aplikasi khusus adalah kepadatan rendah, ketahanan korosi yang baik, kemudahan fabrikasi, dan keragaman bentuk. (U.S Department of Transportation, 2003). Aluminium memiliki struktur Kristal *face centred cubic* (FCC) dengan kisi Kristal  $(a) = 4.0413 \text{ \AA}$  pada temperature  $25^{\circ}\text{C}$  (Horn, 1967). aluminium mempunyai ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat lainnya sebagai sifat logam. Untuk menaikkan sifat mekaniknya, maka secara umum aluminium biasanya dipadukan dengan menambahkan Si, Fe, Cu, Mn, Mg, dan Zn. Si dan Mg ditambahkan untuk menambah daya tahan terhadap korosi, Fe untuk mencegah terjadinya penyusutan, Cu

---



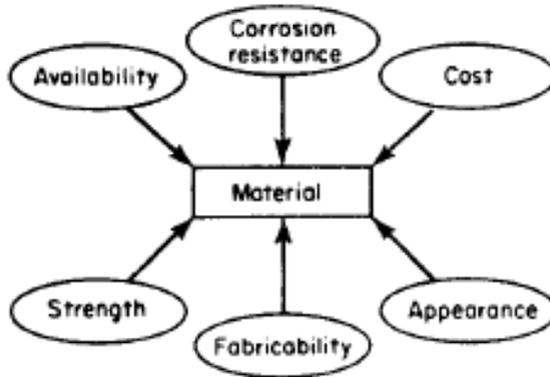
untuk menambah kekuatan, dan Mn untuk memperbaiki mampu bentuk. Elemen-elemen tersebut ditambahkan baik secara satu-persatu atau bersama-sama. Penggunaan dari aluminium dan paduannya antara lain untuk peralatan rumah tangga, kemasan makanan dan minuman, pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi bangunan rumah, dan lain-lain.

**Tabel 2.7.** Sifat-sifat Fisik Aluminium (Surdia, 1992)

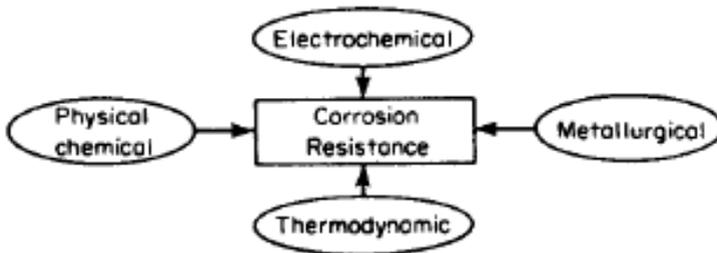
Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99.996	>99.0
Massa Jenis (20°C)	2.6989	2.71
Titik cair	660.2	653-657
Panas Jenis (cal/g.°C)(100°C)	0.2226	0.2297
Hantaran Listrik (%)	64.94	59 (dianil)
Tahanan Listrik Koefisien Temperatur (°C)	0.00429	0.0115
Koefisien Pemuai (20-100°C)	$23.86 \times 10^{-6}$	$23.5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, a = 4.013 Å	FCC, a = 4.04 Å

## 1.5 Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan dari suatu material karena bereaksi dengan lingkungan. Beberapa pendapat menilai definisi korosi terbatas hanya logam saja, tetapi corrosion engineers harus mempertimbangkan dari sisi logam dan non-logam sebagai solusi untuk menyelesaikan persoalan korosi. Korosi dapat menjadi cepat dan lambat. Stainless steel merupakan logam yang sensitifitas terhadap korosi buruk oleh asam polythionic. Ketahanan korosi atau ketahanan kimia tergantung dari beberapa factor. Hal itu membutuhkan pembelajaran ilmu pengetahuan yang komperhensif dan menyeluruh dari beberapa bidah ilmu pengetahuan seperti Gambar 2.6. Termodinamika dan elektrokimia adalah hal yang sangat penting untuk memahami dan mengontrol korosi.



**Gambar 2.6.** Faktor yang Mempengaruhi Korosi dari *Engineering Material*. (Fontana, 1987)



**Gambar 2.7.** Faktor yang Mempengaruhi Ketahanan Korosi logam. (Fontana, 1987)

Factor metalurgi seringkali memiliki pengaruh terhadap ketahanan korosi. Dalam beberapa kasus struktur metalurgi dari logam paduan dapat dikontrol untuk mengurangi serangan korosi. Fisika kimia dan beberapa disiplin ilmu tentangnya sangat berguna untuk mempelajari mekanisme reaksi korosi, kondisi permukaan logam, dan sifat dasar lainnya.



### 2.5.2 Reaksi Elektrokimia

Elektrokimia dari korosi dapat diilustrasikan oleh serangan pada logam Zink dalam larutan asam klorida. Ketika Zink bercampur dengan asam klorida, terjadi reaksi yang sangat kuat; gas hydrogen menguap dan zink larut, membentuk larutan zink klorida. Reaksinya adalah:



Tidak ada ion klorida yang tidak terlibat dalam reaksi, persamaan ini dapat dituliskan dalam bentuk yang lebih sederhana:



Oleh sebab itu. Zink bereaksi dengan ion hidrogen dalam larutan asam untuk membentuk ion zink dan gas hydrogen. Memeriksa persamaan di atas, dapat dibuktikan selama reaksi berlangsung, zink teroksidasi menjadi ion zink dan ion hydrogen tereduksi menjadi hydrogen. Maka, persamaan (2.2) dapat disederhanakan menjadi dua reaksi, oksidasi dari zink dan reduksi dari ion hydrogen.

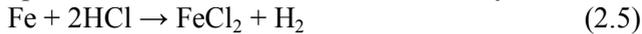


Oksidasi atau reaksi anodic dapat diindikasikan dengan adanya kenaikan valensi atau produksi electron. Penurunan pengisian valensi atau konsumsi dari electron menandakan reduksi atau reaksi katodik.

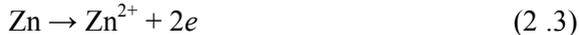
Korosi dari zink dalam asam klorida adalah proses elektrokimia. Karena itu, terdapat beberapa reaksi yang dapat dibagi menjadi dua (atau lebih) bagian reaksi dari oksidasi dan reduksi disebut elektrokimia. Membagi korosi atau reaksi elektrokimia yang lain menjadi bagian reaksi membuat lebih



mudah untuk dipahami. Besi dan aluminium, seperti zink, sama halnya cepat terkorosi oleh asam klorida. Reaksinya adalah:



Meskipun dapat dilihat ada sedikit perbedaan, membandingkan sebagian proses dari oksidasi dan reduksi mengindikasikan reaksi (2.1), (2.5), dan (2.6) adalah hampir sama. Seluruhnya melibatkan reduksi ion hydrogen dan hanya berbeda pada reaksi oksidasi atau anodic:



### 2.5.3 Laju Korosi

Laju korosi dapat ditunjukkan dalam berbagai cara dalam literature; seperti *percent weight loss*, *milligrams per square centimeter per day*, and *grams per square inch per hour*. Hal ini tidak menunjukkan ketahanan korosi dalam istilah penetrasi. Dalam dunia teknik, laju penetrasi, atau tipisnya bagian struktur, dapat digunakan untuk memprediksikan usia dari komponen yang diberikan.

Pernyataan *mils per years* adalah hal cara yang paling disukai untuk menyatakan laju korosi dan digunakan dalam pembahasan kali ini. Pernyataan ini dapat dihitung dari *weight loss* dari specimen logam selama pengujian korosi dengan perumusan di bawah ini:

$$mpy = \frac{534W}{DAT}$$

Dimana W = weight loss, mg

D = density of specimen, g/cm<sup>3</sup>

A = area of specimen, sq. in.

T = exposure time, hr

Perhitungan laju korosi ini melibatkan seluruh angka, yang mudah di selesaikan. (Fontana, 1987).



---

#### 2.5.4 Pengendalian Korosi dengan Pelapisan Logam

Lapisan logam merupakan penghalang yang berkesinambungan antara permukaan logam dengan lingkungan di sekitarnya. Sifat-sifat ideal bahan pelapis dari logam ini dapat diringkas sebagai berikut:

- a) Logam pelapis harus jauh lebih tahan terhadap serangan lingkungan dibandingkan logam yang dilindungi.
- b) Logam pelapis tidak boleh memicu korosi pada logam yang dilindunginya seandainya mengalami goresan atau pecah di permukaannya.
- c) Sifat-sifat fisik seperti kelenturan dan kekerasannya, harus cukup memenuhi persyaratan operasional struktur atau komponen bersangkutan.
- d) Metode pelapisannya harus bersesuaian dengan proses fabrikasi yang digunakan untuk membuat produk akhir.
- e) Tebal lapisan harus merata dan bebas dari pori-pori. (persyaratan ini hampir tidak mungkin dipenuhi)

Namun demikian, tahapan paling penting sebelum suatu logam menjalani proses pelapisan adalah tahapan preparasinya, yaitu untuk:

- a) Membuang semua kotoran pada permukaan seperti lemak, minyak, debu, dan serpihan dari proses produksi.
- b) Membuang produk-produk korosi yang sudah terbentuk pada permukaan
- c) Mengatur karakteristik fisik permukaan. (Thretewey, 1991).

#### 2.5.5 Pengendalian Korosi Menggunakan Seng (Zn)

Umur efektif sebuah lapisan terutama bergantung pada ketebalan serta lingkungan yang dihadapinya, sehingga seng terkorosi sesuai dengan peran yang dijalankannya sebagai tumbal

---



dalam upaya perlindungan tersebut. Dalam kondisi demikian, korosi serius tertunda sampai lapisan pelindung (seng) tinggal 10% saja dari keadaan semula. Pada umumnya lapisan setebal 0.03 mm di udara terbuka berumur 11 sampai 12 tahun bila didaerah pedesaan, sekitar 8 tahun bila di lingkungan laut, tetapi menjadi hanya 4 tahun bila di daerah industri terkena polusi belerang oksida. Dalam keadaan terendam dalam air laut setiap lapisan dengan ketebalan 0.03 mm habis sesudah kira-kira satu tahun, tetapi adanya polusi, terutama hidrogen sulfida yang ditimbulkan oleh limbah muara-muara, menyebabkan laju penipisan lapisan semakin bertambah. (Sulistijono, 1999).

### **2.5.6 Pengendalian Korosi Menggunakan Alumunium**

Pelapisan menggunakan alumunium biasanya dilakukan dengan cara penyemprotan atau pencelupan panas, walaupun untuk benda-benda yang berukuran kecil itu dilakukan dengan cara difusi. Silikon ditambahkan ke dalam bak logam panas untuk memperlambat pembentukan lapisan antar logam yang rapuh di antarmuka antara logam pelapis dan logam yang dilindungi. Pelapisan dengan penyemprotan menyebabkan kadar oksida yang jauh lebih tinggi daripada yang disebabkan oleh pelapisan dengan pencelupan panas, dan lebih berpori. Bagaimanapun, produk korosi dengan cepat mengisi lubang-lubang mikro pada lapisan itu dan menjadikannya lapisan menjadi lekat, kompak dan kedap.

Telah dibuktikan bahwa, bila lapisan alumunium pada baja harus menghadapi udara kawasan industri, umumnya lebih panjang dibandingkan dengan lapisan seng. Lapisan alumunium juga dapat digunakan sebagai pelindung yang baik dari serangan senyawa-senyawa belerang, karena itu digunakan di industri kimia, di beberapa instalasi turbin gas, dan untuk melapisi knalpot kendaraan. (Sulistijono. 1999).

---



---

## 2.6 Baja Karbon

Baja pada dasarnya adalah paduan besi-karbon. Selain terdiri dari besi dan karbon biasanya juga mengandung sejumlah unsur lain, sebagian berasal dari pengotoran pada bijih besi (misalnya belerang dan phosphor), yang biasanya kadarnya ditekan serendah mungkin, sebagian lagi unsur yang digunakan pada proses pembuatan besi atau baja (misalnya silicon dan mangan). Di samping itu seringkali juga sejumlah unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam baja untuk memperoleh sifat tertentu. Mengingat hal ini maka dapat dibayangkan bahwa jenis baja sangat banyak.

Baja karbon rendah (low carbon steel), kadar karbon sampai 0,30%, sangat luas pemakaiannya, sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan lain-lain. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit, sehingga baja ini kekuatan relative rendah, lunak, tetapi keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan dimachining. Baja ini tidak dapat dikeraskan (kecuali dengan pengerasan permukaan). Ada juga yang membagi lagi kelompok ini, yang kadar karbonnya sangat rendah, kurang dari 0,15%, sebagai dead mild steel, yang biasanya digunakan untuk baja lembaran, besi strip dan lain-lain.

Baja karbon menengah (medium carbon steel), kadar karbon 0,30-0,70%. masih terdiri dari ferrit dan perlit juga, dengan perlit cukup banyak, sehingga baja ini lebih kuat dan keras serta dapat dikeraskan, tetapi getas. Banyak digunakan untuk konstruksi mesin, seperti poros, poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas dan lain-lain, yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi.

Baja karbon tinggi (High carbon steel), kadar karbon lebih dari 0,70%, lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja ini terutama digunakan untuk konstruksi mesin yang memerlukan kekuatan lebih tinggi, serta untuk perkakas, yang biasanya

---



---

memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk gunting, mata bor, reamer, tap dan perkakas tangan yang lain. (Suherman, 1999).

### 2.6.1 Baja API 5L

Di pasaran, baja telah diklasifikasikan dengan standard khusus. Standard ini dikeluarkan oleh badan-badan internasional, seperti *Deutsches Institut fur Normung* (DIN), *Japanese Industrial Standard* (JIS), *American Iron and Steel Institute* (AISI), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), dan *American Petroleum Institute* (API). Semua badan tersebut membuat standard mengenai baja. Khusus untuk API, badan ini hanya mengeluarkan standard baja untuk aplikasi di dunia perminyakan. Selain itu, API juga merupakan lembaga yang menyediakan produk dan melakukan pengembangan untuk produk dengan spesifikasi khusus untuk bidang yang sama. Salah satu standard buatan API yang banyak dijadikan rujukan adalah standard untuk perpipaan, yakni *Specification for Line Pipe: API 5L*.

*Specification for Line Pipe: API 5L* dibuat untuk menentukan spesifikasi bahan yang digunakan pada sistem perpipaan di industri perminyakan. Spesifikasi ini ditentukan oleh apa yang diantar melalui pipa tersebut, baik air, gas, atau minyak. API 5L meliputi pipa tanpa sambungan maupun baja pipa lasan.

Spesifikasi API 5L ditetapkan untuk dua level spesifikasi produk atau *Product Specification Level* (PSL), yakni PSL 1 dan PSL 2. Kedua PSL ini disusun berdasarkan pada standard perbedaan teknis. PSL 2 harus memiliki kesesuaian atau kebutuhan untuk karbon yang setara, ketangguhan, kekuatan *yield* maksimum, dan kekuatan tarik maksimum. Grade yang ada berdasarkan standar yang ada adalah grade A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70 dan X80. Untuk pipa PSL 1 ada pada grade A25 sampai X70, dan pipa PSL 2 ada pada grade B sampai X80. (Institute, 2004). Komposisi baja API dapat dilihat pada Tabel 2.X.

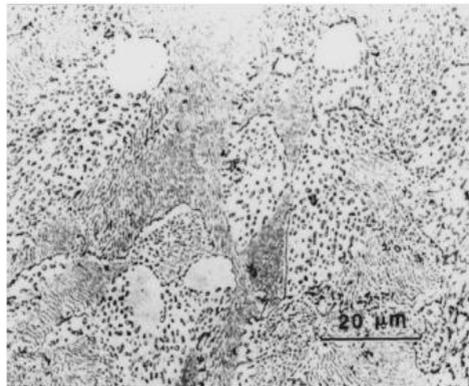
---

**Tabel 2.8** Komposisi Kimia Baja API 5L

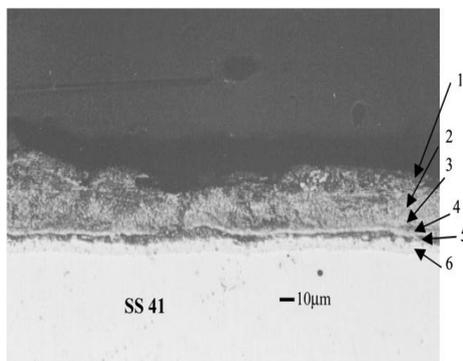
Unsur	Kadar (%)
Karbon	0,22
Mangan	1,2
Fosfor	0,030
Sulfur	0,030
Titanium	0,04

## 2.7 Penelitian Sebelumnya

Studi mengenai ketahanan korosi *coating* hot dip 5%Al-Zn dalam lingkungan klorida telah dilakukan oleh Chung, dkk menggunakan specimen baja SS41. Ketahanan korosi yang paling baik dimiliki oleh larutan padat Fe/Al dan fasa  $\text{FeAl}_3\text{Zn}_{0,4}$ . Pengujian korosi dilakukan dengan metode *weight loss*, *salt spray* dan polarisasi dalam larutan NaCl 3,0%. Hasil analisis mikrostruktur menggunakan SEM/EDS dari hasil pelapisan hot dip 5%Al-Zn menunjukkan ketebalan lapisan yang dihasilkan sebesar 60  $\mu\text{m}$  dan komposisi kimia dari 5%Al-Zn *coating* adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.8.** Struktur Mikro Galvan *Coating* (Marder, 2000)



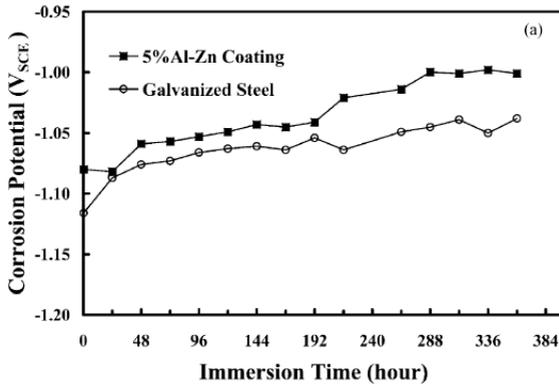
**Gambar 2.9.** Hasil SEM dari lapisan 5%Al-Zn. (Chung, 2001).

**Tabel 2.9.** Komposisi kimia lapisan 5%Al-Zn. (Chung, 2001).

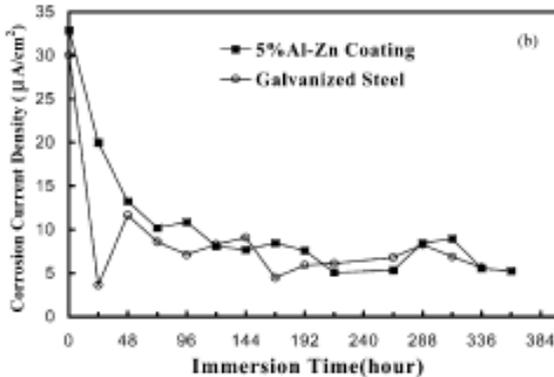
Layer	Element (wt.%)				Oxides and intermetallics
	Al	Zn	Fe	O	
Layer 1 (surface)	6.7	65.3	0.7	27.3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnO
Layer 2	17.2	64.0	2.8	16.0	ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZnAl alloy
Layer 3	19.6	63.0	1.8	15.6	FeAl <sub>3</sub> or Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> /ZnAl alloy
Layer 4	16.6	63.2	2.6	17.6	Fe <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> /ZnAl alloy
Layer 5	2.1	82.4	-	15.1	θ-FeAl <sub>3</sub> Zn <sub>0.4</sub> /ZnAl alloy
Layer 6 (interface)	47.7	13.0	31.3	8.0	θ-FeAl <sub>3</sub> Zn <sub>0.4</sub>



Dari hasil pengujian *weight loss*, polarisasi dan *salt spray* Potensial korosi dari *zinc* dan 5%Al-Zn *coating* meningkat, peningkatan secara eksponensial juga terjadi pada densitas arus dalam 3 hari pertama pencelupan kemudian cenderung stabil pada hari berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa proses korosi masih sesuai dengan *anodic control* yang disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasif pada kedua metode pelapisan ini seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 2.10.** Variasi Potensial Korosi dari Baja yang Dilapisi 5%Al-Zn. (Chung, 2001)



**Gambar 2.11.** Variasi Densitas Arus Korosi dari Baja yang Dilapisi 5%Al-Zn dalam 3% NaCl. (Chung, 2001)



Bagaimanapun 5%Al-Zn *coating* memiliki lapisan pasif yang terbentuk lebih efektif dibandingkan *zinc oxide*. Setelah 9 hari perendaman, perbedaan potensial korosi sebesar 50mV, dengan perbedaan arus sebesar  $6\mu\text{A}/\text{cm}^3$  setelah perendaman selama 4 hari. Hasil dari 500, 1250, 2000 h pengujian *salt spray* mengindikasikan kecenderungan pengurangan karat putih yang digantikan oleh karat kuning kecoklatan pada daerah *galvanizing coating*. Karat baja yang dilapisi oleh *galvanize coating* lebih berbahaya dibandingkan karat pada baja yang dilapisi oleh 5%Al-Zn. Contohnya, untuk mengkorosikan besi yang dilapisi oleh *galvanizing* membutuhkan waktu 750h sedangkan untuk besi yang dilapisi 5%Al-Zn membutuhkan waktu 1700h. (Chung, 2001).

Penelitian pembentukkan fasa intermetallic dalam substrat baja karbon rendah dengan metode hot dip galfan sudah dilakukan sebelumnya oleh Chen, dkk. Penelitian ini menggunakan sampel baja karbon rendah yang dicelupkan ke dalam logam cair 5%Al-Zn pada temperature 450°C dengan waktu pencelupan pada rentan 16-4096 detik. Fasa *intermetallic* saat pencelupan selama 128 detik diidentifikasi menggunakan *X-ray Diffraction* seperti pada table di bawah ini.

**Tabel 2. 10.** Hasil Uji X-ray Diffraction saat pencelupan 128 detik. (Chen,1992)

Phase	hkl	d (pm)	Peak Intensity (cps)		
			NG*	G1**	G2
Fe <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> Zn <sub>4</sub>	111, 020	321.6	0	0	3
	002, 221	212.4	0	7	12
	112	194.8	0	0	2
FeAl <sub>3</sub> Zn <sub>4</sub> or Zn	$\bar{6}23$ , 205 or 101	209.0	170	180	75
Zn	002	247.3	2250	1700	130
Fe	110	202.7	7	17	75

\*Coating surface before grinding.

\*\*G1 and G2 are after one and two grinding steps, respectively.



Ketika proses pencelupan dilakukan dalam waktu yang lebih lama, fasa *intermetallic* tumbuh menjadi lebih stabil. Dalam waktu yang singkat maka fasa *intermetallic* tidak terbentuk.

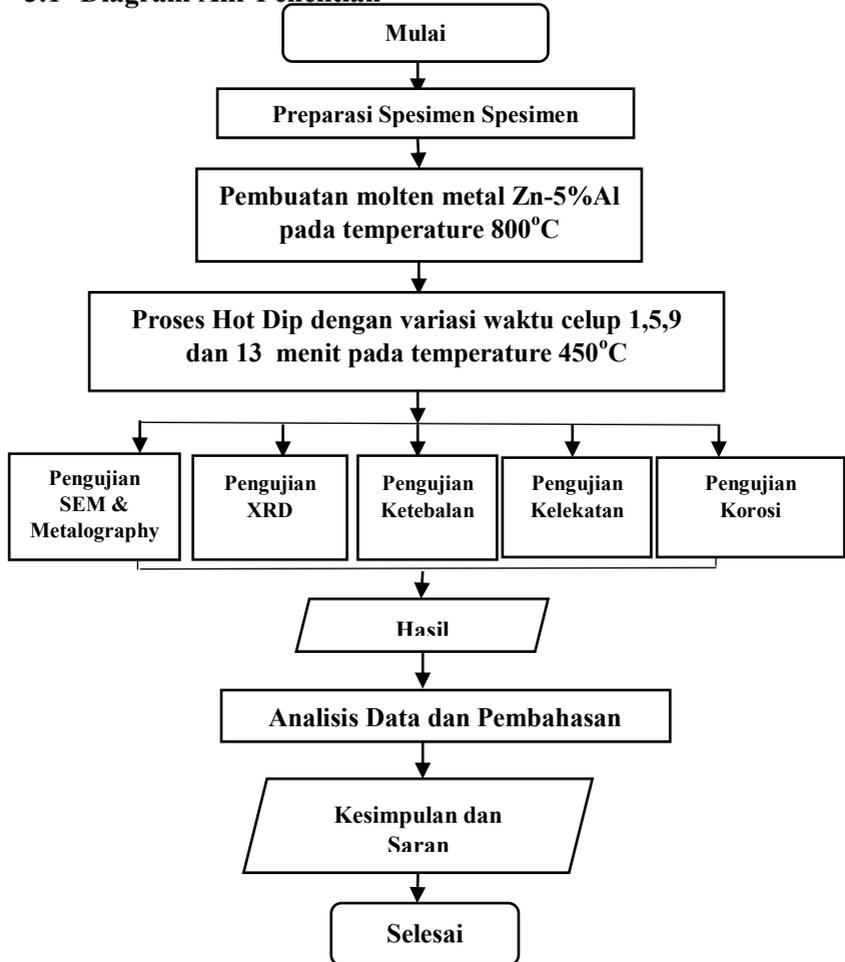
**Tabel 2. 11.** Komposisi kimia dari fasa *intermetallic*.  
(Chen,1992)

<i>t</i> (s)	Description of Analysis Spot	Fe	Al	Zn
64	local outburst, 7 $\mu\text{m}$ in diameter	40.3	52.2	7.5
128	local outburst, 8 $\mu\text{m}$ in diameter	41.5	49.5	9.0
256	5 $\mu\text{m}$ from the intermetallic/substrate interface	46.5	41.6	12.0
	breakaway intermetallics	39.7	51.8	8.5
1024	7 $\mu\text{m}$ from the intermetallic/substrate interface	39.4	49.1	11.5
	breakaway intermetallics	35.1	57.8	7.1
4096	7 $\mu\text{m}$ from the intermetallic/substrate interface	38.6	46.9	14.5
	breakaway intermetallics	35.7	57.6	6.7

\*Coating:  $T = 450$  °C; hot dipping time (*t*) as indicated. Each composition is the average of three readings.

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian



---

## 3.2 Alat dan Bahan Percobaan

### 3.2.1 Bahan Percobaan

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

1. Logam Alumunium

Logam alumunium digunakan sebagai bahan logam pelapis dari Baja API 5L Grade B Sch. 40 yang dipadukan dengan seng. Alumunium yang digunakan adalah Alumunium seri 6061.



**Gambar 3.2** Alumunium Seri 6061

2. Logam Zink (seng)

Logam seng digunakan sebagai bahan logam pelapis dari Baja API 5L Grade B Sch. 40 yang dipadukan dengan 5%Al. Seng yang digunakan adalah anode seng.



**Gambar 3.3** Anode Seng

---



### 3. Baja API 5L Grade B Sch. 40

Baja ini digunakan sebagai spesimen uji yang dilapisi oleh logam Zn-5%Al *alloy* pada proses hot dip galfan. Gambar spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 4.1 (a)

#### 3.2.2 Alat Percobaan

Alat-alat yang diperlukan dalam melakukan percobaan ini antara lain sebagai berikut:

1. Electric Furnace

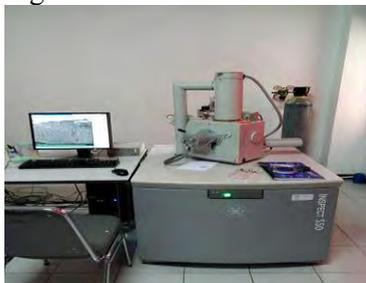
Digunakan untuk melebur seng dan aluminium untuk menjadi alloy galfan.



**Gambar 3.4** Electric Furnace

2. SEM

Digunakan untuk menganalisis morfologi substrat dan lapisan coating.



**Gambar 3.5** Alat SEM

3. DFT (Dry Film Thickness)

Digunakan untuk mengukur ketebalan lapisan coating yang terbentuk setelah proses *immersing*.

---



**Gambar 3.6** Alat Uji DFT

4. XRD  
Digunakan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk setelah proses pelapisan.



**Gambar 3.7** Alat XRD

5. Adhesion Tester  
Digunakan untuk mengetahui kekuatan lekat lapisan terhadap substrat.
-



**Gambar 3.8** Alat *Pulloff* (*Adhesion Tester*)

### 3.3 Prosedur Percobaan

#### 3.3.1 Preparasi Spesimen

Preparasi awal pada spesimen bertujuan untuk membersihkan spesimen dari pengotor seperti karat, oksida, dan minyak yang melekat pada permukaan sehingga proses hot dip dapat berlangsung dengan baik serta deposit lapisan hasil hot dip dapat menempel dengan baik. Preparasi awal pada sampel mempengaruhi kualitas hasil dari hot dip pada spesimen. Semakin baik preparasi awal sampel maka kualitas hot dip yang melekat permukaan sampel semakin baik pula, begitu juga sebaliknya. Preparasi awal pada spesimen ini dilakukan beberapa tahapan yaitu sebagai berikut :

1. Pemotongan specimen dengan dimensi 5 x 3 x 0.3 cm
2. Pembersihan permukaan spesimen dari pengotor minyak yang berada dipermukaan spesimen dilakukan dengan cara spesimen uji diampelas terlebih dahulu dengan menggunakan kertas amplas untuk menghilangkan kerak (*scale*) yang sulit dihilangkan dengan *chemical treatment*. Selanjutnya specimen direndam di dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 5-10%. Lama perendaman 5-10 menit, tergantung pada banyaknya kotoran yang menempel pada spesimen.
3. Specimen direndam pada larutan *pickling* yaitu larutan  $H_2SO_4$  atau HCl kadar 10– 20% untuk menghilangkan



---

scale atau kerak pada permukaan spesimen. Penggunaan larutan *pickling*  $H_2SO_4$  atau  $HCl$  dengan kadar 10% mengurangi adanya *overpickling*, sedang lamanya waktu *pickling* tergantung dengan tebalnya lapisan *scale* pada material dan kadar dari larutan *pickling*. Selanjutnya specimen direndam dalam larutan air sabun (*rinsing*) sehingga terjadi proses penetralan asam oleh sabun dengan temperatur  $\pm 50^\circ C$ .

4. Spesimen dibilas sampai bersih. Dan spesimen dikeringkan agar sisa-sisa air yang ada dipermukaan menguap atau hilang.
5. Spesimen selanjutnya diampas dengan menggunakan kertas ampas menghilangkan sisa kerak sekaligus untuk meratakan permukaan.
6. Spesimen ditimbang beratnya menggunakan neraca analitik.

### 3.3.2 Pembuatan Material Zn-5%Al

Proses pembuatan material Zn-5%Al yaitu diawali dengan material Zn dengan perbandingan 95% berat dicampurkan dengan material Al dengan presentase 5% berat dari total berat paduan ini sebesar 300 gram. Proses penimbangan komposisi dari material zink dan material aluminium harus dilakukan dengan sangat teliti, agar material yang terbentuk sesuai dengan apa yang diinginkan. Selanjutnya 300 gram Zn-5%Al dimasukkan ke dalam furnace untuk dilelehkan pada temperature  $800^\circ C$ , selama proses pelelehan material harus selalu dikontrol untuk memastikan bahwa material Zn-5%Al sudah melebur dengan sempurna.

### 3.3.3 Proses Pencelupan (*Immersing*)

Proses pencelupan (*immersing*) dilakukan pada specimen baja karbon rendah yang sudah dibersihkan pada tahap preparasi specimen uji yang dicelupkan ke dalam material Zn-5%Al cair pada temperature  $430^\circ C$  dengan variasi waktu celup yang berbeda-beda, yaitu 1 menit, 5 menit, 9 menit, dan 13 menit.

---



---

Pada proses pencelupan ini temperature material Zn-5%Al harus dijaga agar tetap konstan agar hasil pencelupan didapatkan secara sempurna atau tidak terjadi cacat. Setelah specimen baja dicelup dengan waktu celup yang sudah ditentukan, maka specimen diquench di dalam air. Pemilihan temperature pencelupan 450°C berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rocha (1991) dan dipengaruhi oleh spesifikasi dari furnace yang digunakan, karena furnace yang digunakan tidak bisa dioperasikan dalam keadaan vakum yang menyebabkan temperature aplikasi menjadi sulit untuk divariasikan.

### 3.3.4 Pengamatan Menggunakan SEM dan Mikroskop Optik

Pengujian menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mengetahui ketebalan dari lapisan hasil hot dip dari Zn-5%Al serta untuk karakterisasi morfologi lapisan coating, pengujian dilakukan dengan alat uji SEM dengan merek dagang FEI Inspect S50, alat uji tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.3.

Pengujian SEM pada spesimen hot dip ini bertujuan untuk mengetahui morfologi *interface* antara substrat dengan *coating*. Pengujian menggunakan mikroskop optik bertujuan untuk mengetahui bagaimana struktur mikro dari *layer-layer* yang terbentuk ketika proses pelapisan. Pengujian ini menggunakan larutan etsa berupa 5% HNO<sub>3</sub> dan 95% methanol dengan perbesaran gambar 10x dan 20x perbesaran.

### 3.3.5 Pengamatan Menggunakan XRD

Pengamatan dengan menggunakan alat X-ray Diffraction (XRD) bertujuan untuk mengkarakterisasi senyawa intermetallic dan senyawa-senyawa lain yang terbentuk dipermukaan baja akibat proses pelapisan. Prinsip kerja dari alat XRD adalah dengan memanfaatkan radiasi sinar-x yang ditembakkan ke specimen uji dengan sudut tertentu.

---



---

### 3.3.6 Uji Ketebalan

Pengujian ketebalan deposit lapisan hasil coating yang terbentuk setelah proses hot dip. Pengujian ketebalan deposit lapisan coating dilakukan dengan menggunakan alat uji ketebalan DFT yang ditunjukkan oleh Gambar 3.5. Pengukuran ketebalan dilakukan pada tiga titik yaitu pada setiap ujung spesimen dan titik tengah dari spesimen. Pengukuran tiga titik dilakukan agar didapatkan sebaran ketebalan di seluruh permukaan spesimen.

Pengukuran ketebalan dilakukan dengan menempelkan secara langsung probe dari alat uji ketebalan terhadap permukaan spesimen hasil coating selama beberapa saat sampai terdengar suara penanda pengukuran ketebalan telah selesai dilakukan oleh alat. Setelah terdengar bunyi penanda pengukuran selesai, barulah ketebalan lapisan coating terbaca di layar alat. Kemudian dihitung nilai rata-rata ketebalan untuk setiap spesimen.

### 3.3.7 Uji Kelekatan

Pengujian kelekatan lapisan coating terhadap benda kerja yang dilapisinya. dilakukan dengan melakukan uji pull-off menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester, seperti terlihat pada Gambar 3.6. Spesimen perlu dipersiapkan terlebih dahulu sesuai standar spesimen uji pull-off. Spesimen ditempelkan kepada alat penarik yang berbentuk seperti pion catur yang bernama DeFelsko dolly. DeFelsko dolly yang digunakan pada pengujian ini memiliki diameter 20 mm. Penempelan spesimen uji kepada alat penarik dilakukan menggunakan lem epoxy dan lem epoxy dibiarkan mengering. Kemudian spesimen harus dibersihkan dari sisa-sisa lem disamping alat penarik dengan menggunakan alat cutting tool yang berbentuk bulat. Pembersihan lem ini bertujuan agar didapatkan hasil pengukuran kelekatan yang valid. Setelah spesimen bersih dari sisa lem, spesimen uji siap untuk

---



---

dilakukan uji pull-off. Uji pull-off dilakukan dengan memasukkan tuas penarik ke dalam alat penarik yang terhubung dengan alat pembaca tekanan. Spesimen perlahan-lahan ditarik sampai lapisan coating pada permukaan spesimen mengelupas kemudian besar kekuatan tarik lapisan hasil hotdip dapat dibaca pada alat pengukur tekanan.

### **3.3.8 Pengujian Laju Korosi**

Pengujian laju korosi bisa dilakukan dengan menggunakan pengujian weight loss. Metode ini untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja karbon yang telah dilapisi dengan logam zink pada media lingkungan NaCl 3,5%. Ketebalan yang digunakan sesuai dengan ketebalan hasil pelapisan hotdip berdasarkan perbedaan waktu celup yang dilakukan. Material coating yang digunakan pada pengujian laju korosi ini adalah baja karbon rendah Baja API 5L yang telah dicoating menggunakan logam zink dan 5% alumunium. Lama pengujian yang dilakukan selama 15 hari dengan menggunakan larutan NaCl 3,5% dengan merendamnya atau immers. Sebelum dilakukan pengujian seluruh sampel dilakukan pengukuran berat untuk mengetahui berat awal, lalu dilakukan pengukuran berat setiap 10 dan 30 hari. Setelah didapatkan perubahan berat per satuan waktu dan dilakukan perhitungan laju korosi yang terjadi. Standard pengujian yang digunakan adalah ASTM G-31

---



### 3.4 Rancangan Penelitian

**Tabel 3.1** Rencana Penelitian

Variabel Waktu Celup	Uji SEM	Uji XRD	Uji Metalography	Uji Ketebalan	Uji Kelekat an	Uji Korosi
1			v	v	v	v
				v	v	
				v	v	
5	v		v	v	v	v
	v			v	v	
				v	v	
9			v	v	v	v
				v	v	
				v	v	
13		v	v	v	v	v
		v		v	v	
				v	v	
	<b>Total Spesimen</b>					<b>36</b>



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengamatan Makro dan Mikro

#### 4.1.1 Pengamatan Makro

Pengamatan makro yang dilakukan secara visual terhadap spesimen uji hasil pelapisan dengan metode hot dip galvanan untuk mengamati perubahan yang terjadi pada spesimen uji ketika sebelum dan sesudah proses pelapisan dengan metode hot dip galvanan. Penampakan makro spesimen uji sebelum dilakukan proses pelapisan dapat dilihat pada Gambar 4.1.(a), sedangkan penampakan makro spesimen uji setelah dilakukan proses pelapisan dapat dilihat pada gambar 4.1.(b).

Berdasarkan Gambar 4.1, maka dapat kita lihat perbedaan secara visual antara spesimen uji yang belum mengalami proses pelapisan dengan metode hot dip galvanan dengan spesimen uji yang sudah mengalami proses pelapisan dengan metode hot dip galvanan. Spesimen uji yang belum mengalami proses pelapisan nampak berwarna lebih cerah, seperti logam baja umumnya yang sudah mengalami proses preparasi secara mekanik, sedangkan spesimen yang sudah mengalami proses pelapisan berwarna abu-abu cerah. Warna abu-abu yang dihasilkan disebabkan oleh kandungan seng (Zn) yang dipadukan dengan 5% alumunium. Berdasarkan gambar di atas juga dapat dilihat bahwa spesimen uji terlapisi dengan baik.

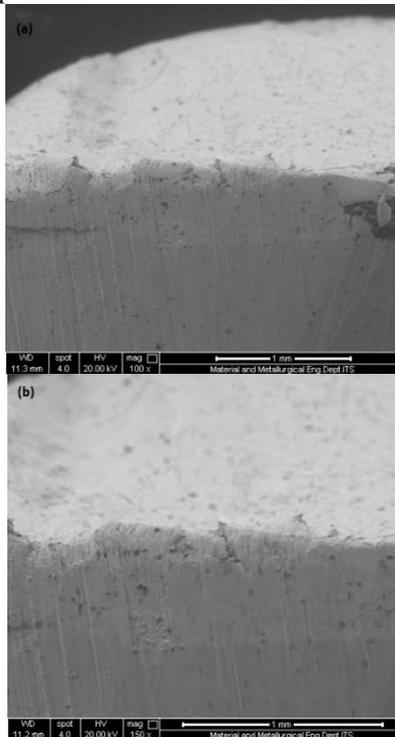


**Gambar 4.1.** (a) Spesimen Uji Sebelum dicoating (b)  
Spesimen Uji Setelah dicoating



### 4.1.2 Pengamatan Mikro

Pengamatan dengan skala mikro ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui morfologi dan struktur mikro lapisan galvan yang terdeposit ke dalam substrat spesimen uji. Pengamatan secara mikro ini dilakukan terhadap tampak melintang (*cross section*) pada lapisan galvan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi permukaan lapisan galvan (apakah hasil coating dengan metode hot dip galvan ini terdeposit dengan baik ke dalam permukaan substrat baja) dan juga untuk mengetahui struktur mikro (fasa-fasa yang terbentuk) dari lapisan yang dihasilkan. Hasil pengamatan secara mikro dengan pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 4.2.

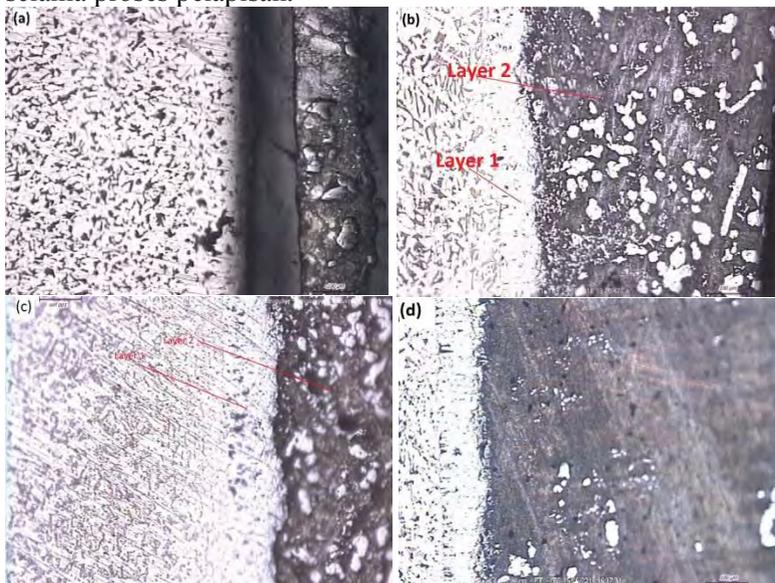


**Gambar 4.2.** (a) Gambar Cross Section dengan Perbesaran 100x (b) Perbesaran 150x waktu celup 5 menit



Jika dilihat pada gambar 4.2 dapat kita lihat lapisan galvan terdeposit dengan baik artinya tidak ada rongga yang terbentuk di antara spesimen uji (baja) dengan lapisan galvan. Lapisan galvan yang terbentuk jika dilihat pada Gambar 4.2 (a), (b) berwarna lebih terang sedangkan spesimen uji (baja) yang berwarna lebih gelap.

Analisis skala mikro juga dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik, hal ini dilakukan untuk menganalisis struktur mikro pada *layer-layer* yang terbentuk selama proses pelapisan.



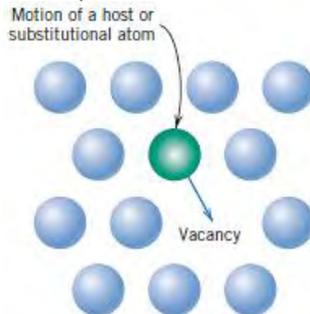
**Gambar 4.3.** Struktur Mikro Galvan Coating untuk Semua Variabel (a) 1 Menit, (b) 5 Menit, (c) 9 Menit, (d) 13 Menit dengan Perbesaran 10x

Berdasarkan hasil struktur mikro yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, dapat dianalisis bahwa terdapat 2 layer (lapisan) yang terbentuk. Layer 1 merupakan lapisan yang paling dekat dengan substrat baja. layer 1 ini merupakan lapisan *intermetallic* yang



terbentuk dengan mekanisme difusi atom. Peristiwa difusi atom ini terjadi akibat adanya *gradient* (perbedaan) konsentrasi atom-atom, selain itu peristiwa difusi ini juga disebabkan oleh adanya panas yang diberikan ketika proses aplikasi *coating*, sehingga panas menjadi energi bagi atom-atom untuk berdifusi.

Proses difusi pada atom Al berdifusi dari molten metal ke dalam permukaan baja. Mekanisme difusi atom Al adalah substitusi *solid solution*, dengan memanfaatkan vakansi (kekosongan) atom pada struktur kristal. Difusi substitusi ini terjadi karena jari-jari atom Fe dengan Al tidak jauh berbeda, nilai electron valensi Al lebih kecil dari Fe, keelektronegatifan Al lebih kecil dibandingkan keelektronegatifan Fe. Menurut Gapsari (2012), substitusi *solid solution* terjadi apabila jari-jari atom berukuran hampir sama (tidak lebih dari 15%).



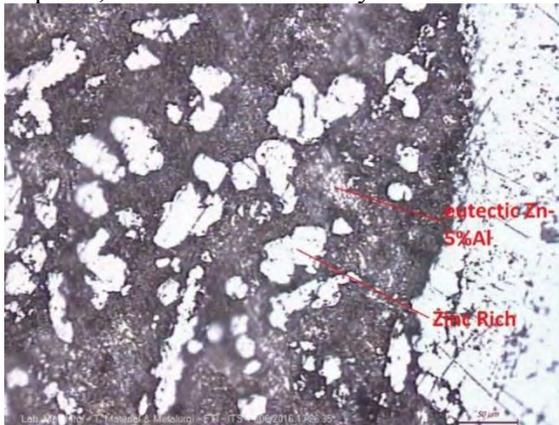
**Gambar 4.4.** Mekanisme Difusi Substitusi (Callister, 2010)

Setelah atom Al terdifusi ke dalam permukaan substrat maka terbentuk senyawa *intermetallic* sehingga terjadi proses pengintian (*nucleation*) lapisan *intermetallic* pada *interface* substrat. Proses pengintian ini akan membutuhkan waktu yang cukup hingga proses pengintian senyawa *intermetallic* ini selesai. Selanjutnya adalah proses pertumbuhan (*growth*) pada inti senyawa *intermetallic*. Proses pertumbuhan inti pada lapisan *intermetallic* juga membutuhkan waktu yang cukup hingga mencapai ketebalan tertentu. Proses pertumbuhan ini berlangsung dengan lambat, sehingga lapisan *intermetallic* yang terbentuk



tidak tebal (tipis). Menurut Chen (1999) proses pembentukan lapisan *intermetallic* diawali dengan pengintian (*nucleation*) diteruskan dengan pertumbuhan (*growth*).

Layer 2 merupakan lapisan galfan *coating*. Berdasarkan Gambar 4.5 maka dapat dilihat bahwa ada dua fasa yang berbeda yang dihasilkan pada lapisan galfan. Fasa tersebut adalah fasa yang kaya Zn ( $\beta$ ) dan fasa hasil reaksi eutektik. Fasa  $\beta$  memiliki warna cerah, sedangkan fasa hasil reaksi eutektik adalah *lamellar*. Proses pembentukan fasa juga diawali dengan pengintian (*nucleation*) dan dilanjutkan dengan pertumbuhan (*growth*) inti sehingga membentuk butir (*grain*). Menurut Avner (1974), kriteria untuk menjadi *eutectic mixture* adalah adanya dua fasa solid yang berbeda, campuran ini bisa berupa dua logam murni, dua larutan padat, atau kombinasi lainnya.



**Gambar 4.5.** Struktur Mikro Lapisan Galfan 9 menit dengan Perbesaran 20x

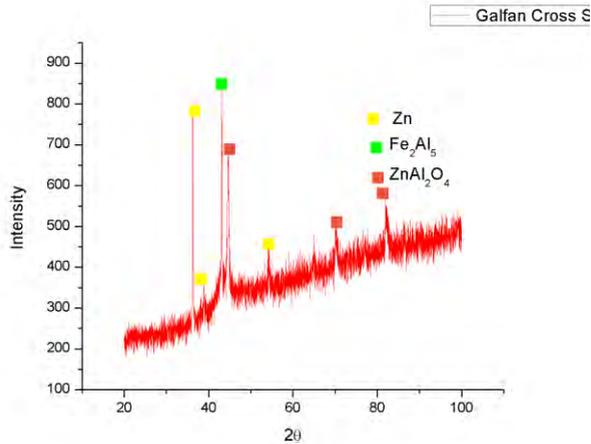
Struktur mikro lapisan galfan juga dapat dilihat pada Gambar 2.8, dimana struktur mikro dari eutektik *mixture* berbentuk bintik-bintik *lamellar*.

#### 4.2 Pengujian *X-ray Diffraction*

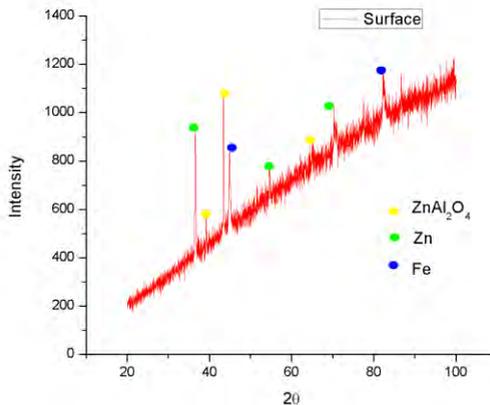
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk setelah proses hot dip galfan coating dan untuk



mengetahui senyawa yang terbentuk pada specimen uji yang sudah mengalami pengujian korosi. Pengujian ini dilakukan pada sample uji dengan variable waktu celup 13 menit.



**Gambar 4.6.** Grafik Hasil Pengujian XRD Spesimen Uji 13 menit *Cross Section*



**Gambar 4.7.** Grafik Hasil Pengujian XRD Spesimen Uji 13 menit *Surface*



Pada pengujian ini ditemukan 2 senyawa dan 2 unsur yang memiliki *peak* tertinggi. Pada sample uji hasil proses coating bagian surface, senyawa yang memiliki nilai *peak* tertinggi adalah Fe, Zn,  $ZnAl_2O_4$ . Sedangkan pada sample *cross section* senyawa yang ditemukan berturut-turut berdasarkan intensitas *peak* tertinggi adalah  $Fe_2Al_5$ , Zn, dan  $ZnAl_2O_4$ . Dari kedua hasil pengujian XRD ini dapat dilihat senyawa  $ZnAl_2O_4$  bertindak sebagai lapisan pasif (*passive film*). Senyawa ini terbentuk disebabkan oleh reaksi oksidasi dengan  $O_2$ . Sedangkan  $Fe_2Al_5$  merupakan senyawa *intermetallic* yang terbentuk pada substrat dengan galfan coating (difusi atom Al ke dalam substrat).

Bedasarkan data hasil pengujian XRD juga dapat ditentukan ukuran Kristal fasa yang terbentuk yaitu dengan menggunakan persamaan Scherrer :

$$D = \frac{0,9 \lambda}{B \text{ Cos } \theta}$$

Dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang radiasi ( $\text{\AA}$ ). B adalah *Full Width at Half Maksimum* (rad) dan  $\theta$  adalah sudut Bragg ( $^\circ$ ). FWHM adalah lebar *peak* pada ketinggian setengah *peak*, dan ini mempengaruhi nilai ukuran Kristal. Semakin besar nilai FWHM maka ukuran Kristal menjadi lebih kecil. Hasil perhitungan besar ukuran Kristal adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.1.** Hasil Perhitungan Besar Ukuran Kristal

Fasa	d ( $\text{\AA}$ )	
	Lapisan Galfan Surface	Lapisan Galfan <i>cross section</i>
Fe	5.351971	-
$ZnAl_2O_4$	14.98443	4.896938
Zn	5.351971	9.790625
$Fe_2Al_5$	-	4.896938



---

Pada pengujian XRD ini memang tidak ditemukan senyawa *intermetallic* pada bagian surface karena pada saat pengujian XRD bagian sample yang terkena gelombang sinar-x adalah bagian surface pada coating sehingga sinar-x yang ditembakkan tidak mampu menembus bagian lapisan *intermetallic*. Menurut Chen (1999), pengujian XRD yang dilakukan pada bagian permukaan galfan tidak mampu mendeteksi intensitas *peak* senyawa *intermetallic*, sehingga dibutuhkan pengurangan ketebalan pada bagian surface dengan metode grinding untuk mendapatkan intensitas *peak* dari lapisan *intermetallic*. Tetapi senyawa yang ditemukan dibagian permukaan dan tampak melintang sudah sesuai dengan penelitian-penelitian yang ada sebelumnya. Menurut Chung (2002), senyawa yang terbentuk pada layer 1 (*surface*) adalah  $ZnO \cdot Al_2O_3$  ( $ZnAl_2O_4$ ) dan senyawa *intermetallic* dari galfan dengan substrat adalah  $Fe_2Al_5$ .

### 4.3 Pengukuran Ketebalan Lapisan

Pengukuran ketebalan lapisan hasil proses hot dip dilakukan untuk mengetahui nilai ketebalan lapisan yang dihasilkan selama perbedaan variasi waktu celup yang diberikan.

Pengukuran ketebalan dilakukan pada tiga titik yang berbeda pada setiap sample uji, dimana titik uji ketebalan berada pada kedua bagian sudut dan bagian tengah dari sample uji. Dari ketiga nilai ketebalan yang dihasilkan di rata-rata sehingga didapatkan nilai ketebalan akhir dari sample uji. Hasil pengukuran ketebalan bisa dilihat dari Tabel 4.2, dapat kita lihat nilai ketebalan setiap variasi waktu celup yang diberikan ketika proses *immersing* spesimen uji ke dalam *molten metal*.

---

**Tabel 4.2.** Hasil Pengukuran Ketebalan Lapisan Coating

Waktu Celup (Menit)	Titik 1 ( $\mu\text{m}$ )	Titik 2 ( $\mu\text{m}$ )	Titik 3 ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata Akhir ( $\mu\text{m}$ )
1	102	125	133	120	113
	107	120	139	122	
	133	158	59.5	97	
5	158	211	175	181,3	227,4
	283	230	330	281	
	178	314	168	220	
9	255	231	330	272	247,1
	261	262	261	261,3	
	259	190	175	208	
13	332	374	227	311	288,9
	226	259	237	240,6	
	307	358	280	315	

Nilai ketebalan rata-rata yang didapatkan pada waktu celup satu menit adalah 97-122  $\mu\text{m}$ . Nilai ini menunjukkan adanya perbedaan ketebalan pada setiap titik yang diuji pada spesimen uji, hanya saja rentang antara nilai ketebalan yang dihasilkan tidak terlalu jauh antara titik yang satu dengan titik yang lainnya. Ketebalan yang paling kecil nilainya dimiliki oleh spesimen uji yang ke tiga ketika proses pencelupan dilakukan selama satu menit, yaitu 97  $\mu\text{m}$ . Sedangkan nilai ketebalan rata-rata yang paling tinggi dimiliki oleh spesimen uji yang pertama, yaitu 122  $\mu\text{m}$ . Jika nilai ketebalan ketiga spesimen uji dirata-rata maka didapatkan nilai ketebalan rata-rata akhir sebesar 113  $\mu\text{m}$ .

Pada waktu celup selama lima menit, nilai ketebalan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai ketebalan yang dihasilkan ketika waktu celup selama satu menit. Kenaikan ini

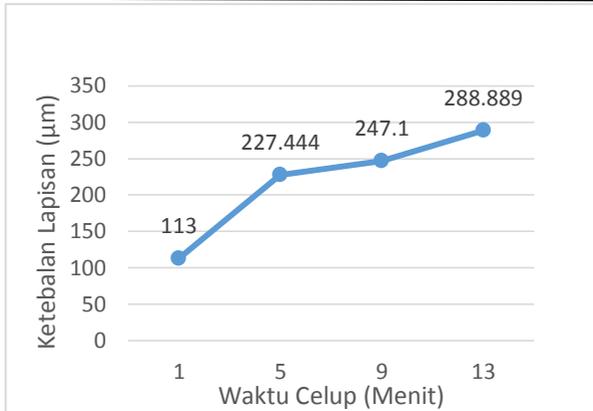


---

terjadi di semua spesimen uji dengan waktu celup lima menit. Kenaikan rata-rata ketebalan akhir yang terjadi  $\pm 110 \mu\text{m}$ . Kenaikan ketebalan yang signifikan ini disebabkan oleh waktu yang terlalu singkat bagi variabel satu menit untuk melakukan difusi ke dalam substrat karena ketika baja dicelupkan ke dalam *molten metal* baja dalam keadaan temperatur kamar sehingga dibutuhkan waktu untuk memanaskan baja agar memudahkan proses difusi. Menurut Avner (1974), kemampuan zat terlarut untuk larut dalam pelarut meningkat ketika temperature meningkat dalam tekanan yang sama.

Ketebalan yang dihasilkan pada variasi waktu celup lima menit ini berada pada kisaran 181,33-281  $\mu\text{m}$ . Jika ketebalan ketiga spesimen uji dirata-rata maka didapatkan ketebalan rata-rata akhir sebesar 227,444  $\mu\text{m}$ . Ketebalan tertinggi dimiliki oleh spesimen uji yang pertama yaitu dengan ketebalan rata-rata sebesar 281  $\mu\text{m}$ . Setelah itu terjadi penurunan yang cukup signifikan ketebalan sebesar 99,7  $\mu\text{m}$  pada spesimen uji ke-dua, meskipun terjadi kenaikan nilai ketebalan kembali pada spesimen uji yang ke-tiga dengan kenaikan nilai ketebalan sebesar 38,7  $\mu\text{m}$ . Pada waktu celup sembilan menit nilai ketebalan lapisan berada pada rentan 261,3-272  $\mu\text{m}$ . Dengan nilai ketebalan rata-rata akhir lapisan sebesar 247,1  $\mu\text{m}$ , artinya terjadi kenaikan nilai ketebalan pada ketebalan lapisan dengan variabel waktu celup sebelumnya (5 menit) sebesar 19,6  $\mu\text{m}$ . Pada waktu celup 13 menit didapatkan nilai ketebalan maksimum (paling tinggi) dibandingkan dengan ketebalan lapisan dengan variabel waktu celup yang lainnya. Ketebalan lapisan berada pada rentan 240-315  $\mu\text{m}$ , dengan ketebalan lapisan rata-rata akhir sebesar 288,9  $\mu\text{m}$ , artinya terjadi kenaikan nilai ketebalan, yaitu sebesar 41,778  $\mu\text{m}$ . Grafik ketebalan bisa dilihat pada Gambar 4.8.

---



**Gambar 4.8** Grafik Pengaruh Waktu Celup Terhadap Nilai Ketebalan

Berdasarkan Gambar 4.8, dapat disimpulkan bahwa ketebalan lapisan maksimum dimiliki oleh variabel waktu celup 13 menit. Hal ini dikarenakan pada saat proses pencelupan (immersing) spesimen uji ke dalam molten metal maka terjadi pengintian dan pertumbuhan lapisan intermetallic yang membutuhkan waktu, artinya semakin lama waktu yang diberikan untuk atom-atom pada molten Zn-5%Al alloy berdifusi ke dalam kisi-kisi atom logam Fe (spesimen uji) dan begitu juga sebaliknya. Karena proses deposit lapisan yang terjadi pada proses pelapisan dengan metode hot dipping adalah interdifusi atom. Menurut Indri (2008) lamanya waktu proses sangat mempengaruhi ketebalan lapisan. Setiap nilai ketebalan yang dihasilkan dari variasi waktu celup yang diberikan memiliki nilai yang berbeda-beda, dengan selisih yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa, proses pelapisan menggunakan metode hot dip menghasilkan ketebalan yang tidak homogen. Menurut Sulistijono (1999), pengaturan ketebalan lapisan dengan metode pencelupan ini sulit dilakukan dan cenderung tidak merata, yaitu tebal pada pada permukaan sebelah bawah tetapi tipis pada permukaan sebelah atas. Selain itu, kenaikan nilai ketebalan pada



variable 5 menit, 9 menit, dan 13 menit tidak signifikan, tidak seperti kenaikan ketebalan pada variable 1 menit ke variable waktu celup 5 menit. Hal ini terjadi karena pertumbuhan lapisan pada waktu yang cukup lama berlangsung dengan lambat, ketika proses pertumbuhan inti lapisan laju pertumbuhan lebih cepat dan melambat ketika lapisan sudah stabil (memiliki ketebalan yang cukup).

Berdasarkan data nilai ketebalan yang sudah diperoleh pada Gambar 4.8 maka dapat disimpulkan bahwa kenaikan nilai ketebalan dipengaruhi oleh lama waktu pencelupan yang diberikan, dimana waktu celup yang menghasilkan ketebalan yang paling optimum adalah 13 menit. Kenaikan nilai ketebalan yang berbanding lurus dengan lama waktu pencelupan ini sudah sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya. Menurut Ramadian (2012), variasi lama pencelupan dan temperatur logam cair mempengaruhi peningkatan ketebalan dan berat lapisan. Semakin lama waktu pencelupan dan semakin tinggi temperaturnya maka semakin tebal lapisan yang terbentuk serta berat lapisan meningkat. Selain itu nilai ketebalan yang dihasilkan dengan metode hot dip ini sudah sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Maafs (2011) ketebalan lapisan minimum yang dihasilkan oleh metode *hot dip metal coating* adalah 55  $\mu\text{m}$ . Berdasarkan hasil pengukuran ketebalan yang dilakukan terhadap semua spesimen uji untuk semua variabel waktu celup nilai ketebalan yang dihasilkan sudah melebihi 55  $\mu\text{m}$ , artinya proses pelapisan yang dilakukan pada penelitian kali ini dapat dikatakan sudah sesuai.

#### 4.4 Pengujian Kelekatan Lapisan

Pengujian kelekatan atau *adhesive* bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan lekat lapisan coating yang menempel pada substrat spesimen uji (baja). Pengujian ini dilakukan terhadap semua spesimen uji yang sudah dilapisi dengan metode hot dip galvan dengan berbagai variasi waktu celup, yaitu 1, 5, 9,



dan 13 menit. Dimana masing-masing variabel waktu celup memiliki tiga spesiemn uji yang diuji nilai kekuatan lekatnya. Kekuatan *adhesive* (lekat) lapisan terhadap substrat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah proses preparasi spesimen uji sebelum dilapisi dan ikatan yang terbentuk antara material pelapis dengan spesimen uji. Untuk memperoleh nilai kelekatan yang baik maka spesimen uji harus dibersihkan dari kotoran yang menghalangi material pelapis untuk terdeposit ke dalam spesimen uji.

**Tabel 4.3.** Hasil Pengukuran Kekuatan *Adhesive* Lapisan

Waktu Celup (Menit)	Kekuatan Adhesive (Mpa)	Kekuatan Adhesive Rata-rata (Mpa)
1	6,19	4,863
	3,25	
	5,15	
5	6,53	6,817
	7,57	
	6,35	
9	6,95	6,843
	6,95	
	6,63	
13	8,14	8,05
	9,46	
	6,55	

Nilai kelekatan dapat dilihat pada Tabel 4.4. Pengujian kelekatan (*adhesive*) dikatakan berhasil apabila ketika proses pencabutan *pin dolly* pada spesimen uji dapat merusak lapisan



---

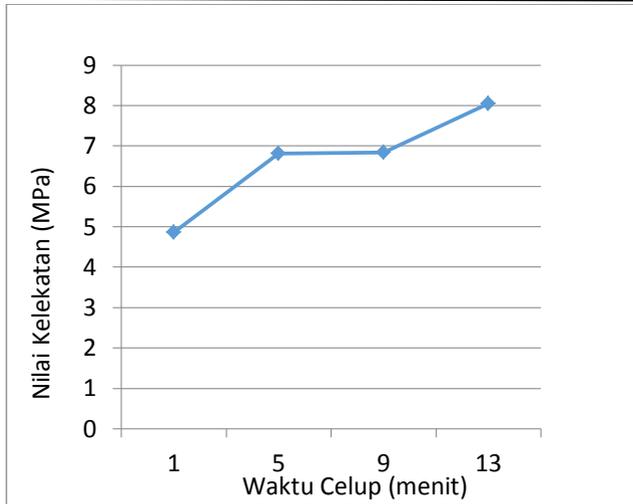
*coating* yang terdeposit pada spesimen uji sehingga lapisan *coating* lepas dari substrat.

Berdasarkan Tabel 4.4 , maka nilai didapatkan nilai kekuatan lekat untuk semua variabel waktu celup. Dimana untuk variabel waktu celup satu menit didapatkan nilai kelekatan untuk spesimen uji yang pertama adalah 6,19 Mpa. Untuk specimen uji yang kedua sebesar 3,25 Mpa. Untuk spesimen uji yang ke-tiga didapatkan nilai kelekatan sebesar 5,15 Mpa. Nilai kelekatan rata-rata sebesar 4,863 Mpa.

Untuk variabel waktu celup selama lima menit nilai kelekatan berturut-turut sebesar 6,53 Mpa, 7,57 Mpa, dan 6,817. Jika semua nilai kelekatan untuk waktu celup selama lima menit dirata-rata maka nilai kelekatan rata-rata akhirnya sebesar 6,817 Mpa, artinya nilai kelekatan rata-rata mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan variabel waktu celup satu menit.

Nilai kelekatan untuk waktu celup sembilan menit berturut-turut adalah 6,95 Mpa, 6,95 Mpa, dan 6,63 Mpa. Sehingga jika dirata-rata maka nilai kelekatan variable waktu celup 9 menit sebesar 6,843 Mpa, Untuk variabel waktu celup nilai kelekataannya berturut-turut sebesar 8,14 Mpa, 9,46 Mpa, dan 6,55 Mpa Jika semua nilai kelekatan dirata-rata maka didapatkan nilai kelekatan rata-rata untuk variable waktu celup selama 13 menit sebesar 8,05 Mpa.

---



**Gambar 4.9.** Grafik Pengaruh Waktu Celup Terhadap Nilai Kelekatan

Jika diamati berdasarkan data pengujian maka nilai kelekatan yang didapatkan tidak besar, hal ini terjadi karena ketika proses pengujian, lapisan *coating* tidak terlepas dari substrat melainkan hanya ada bagian coating dari lapisan yang terlepas dari lapisan coating. Peristiwa ini disebut dengan *failure cohesion*. Sehingga nilai yang didapatkan merupakan nilai kelekatan dengan jenis kegagalan kohesi. Fenomena kegagalan kohesi ini (*cohesion failure*) terjadi pada semua specimen uji untuk semua variable waktu celup.



**Gambar 4.10.** Spesimen Uji Setelah Pengujian *Pulloff*.

Kegagalan koheksi ini bisa terjadi karena ikatan di *interface* substrat dengan coating (lapisan *intermetallic*) terjadi ikatan metalurgi, sedangkan ikatan yang terbentuk diantara layer permukaan coating dengan layer berikutnya tidak lebih kuat dibandingkan ikatan metalurgi yang terbentuk pada lapisan *intermetallic* dengan substrat sehingga pada ikatan yang paling lemahlah terjadi kegagalan, selain itu juga bisa disebabkan oleh adanya unsur pengotor pada molten metal sehingga ikatan antar layer lapi sulit dihindari, pengotor bisa berasal dari komposisi *alloy* alumunium yang digunakan untuk dipadukan dengan Seng karena komposisi kimia i pengotor pada paduan alumunium yang digunakan hampir mencapai 3%.

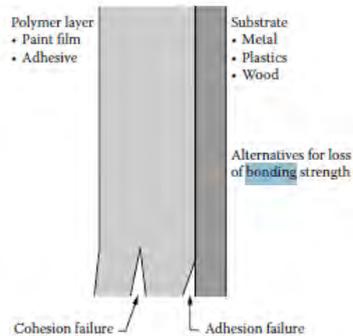
Selain itu impurities ini juga bias disebabkan oleh adanya oksida pada saat proses *immersing* (pencelupan) karena proses pencelupan dilakukan dalam lingkungan yang terekspose ke udara sehingga memudahkan terjadinya reaksi oksidasi yang menyebabkan terbentuknya oksida. Willem (2011), ketahanan adhesi yang paling baik (kuat) adalah pada bagian *interface* antara substrat dengan lapisan *intermetallic*.

Berdasarkan data pengujian dan analisa yang sudah dilakukan, maka semua variable waktu celup (1, 5, 9, dan 13 menit) memiliki sifat adhesive yang baik karena pengujian

---



mekanik yang dilakukan berupa gaya tarik tidak mampu menyebabkan *adhesion failure* tetapi hanya terjadi *cohesion failure*. Contoh peristiwa *cohesion failure* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11.** Perbedaan Cohesion dan Adhesion Failure (Schweitzer, 2006)

#### 4.5 Pengujian Ketahanan Korosi

Pengujian ketahanan korosi lapisan ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan korosi lapisan galvanik terhadap lingkungan yang korosif.

Pada dasarnya reaksi yang terjadi selama proses korosi adalah reaksi kimia oksidasi dan reduksi, dimana jika tereduksi maka material terproteksi (tidak terkorosi) dan apabila terjadi reaksi oksidasi maka material kehilangan elektron sehingga material terkorosi. Pada proses pengujian laju korosi pada lapisan galvanik ini, maka lapisan galvanik mengalami reaksi oksidasi sehingga lapisan galvanik yang terkorosi sedangkan baja spesimen uji tidak terkorosi (terproteksi). Korosi yang terjadi diantara logam dengan logam disebabkan oleh korosi galvanik, sehingga



logam yang memiliki potensial elektroda lebih rendah teroksidasi dan logam yang memiliki potensial lebih tinggi tereduksi. Hasil pengujian ketahanan korosi bias dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.4.** Data Hasil Pengujian Laju Korosi

Waktu celup (Menit)	Massa awal (gram)	Masa Akhir	Weight loss (gram)	Corrosion Rate(mmpy)	Corrosion Rate(g/m <sup>2</sup> -h)
1	12,9988	12,8833	0,1155	0,3288	0.2680
5	14,2457	14,2392	0,0065	0,0185	0,0150
9	13,5912	13,5885	0,0027	0,0076	0,006265
13	16,5607	16,5585	0,0022	0,0063	0,005105

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa lapisan galvan yang terbentuk ketika dicelupkan ke dalam *molten metal* selama satu menit memiliki laju korosi paling tinggi, yaitu sebesar 0,3288 mmpy. Sedangkan untuk variabel waktu celup lima menit terjadi penurunan nilai laju korosi yang cukup signifikan karena pada spesimen uji dengan variabel waktu celup selama lima menit spesimen uji terlapisi dengan baik (merata). Penurunan laju korosi yang terjadi sebesar 0,310315mmpy. Penurunan nilai laju korosi juga terjadi pada spesimen uji dengan variabel waktu celup sembilan menit, yaitu sebesar 0,010818 mmpy. Pada proses pelapisan dengan waktu celup sembilan menit juga terlapisi dengan baik (merata). Penurunan waktu celup juga terjadi pada variabel waktu celup selama 13 menit, yaitu 0,001423 mmpy. Pada proses pelapisan dengan variabel waktu celup selama 13 menit juga terlapisi dengan baik (merata). Menurut standar ISO 12944 bagian 2 menjelaskan klasifikasi laju korosi terhadap



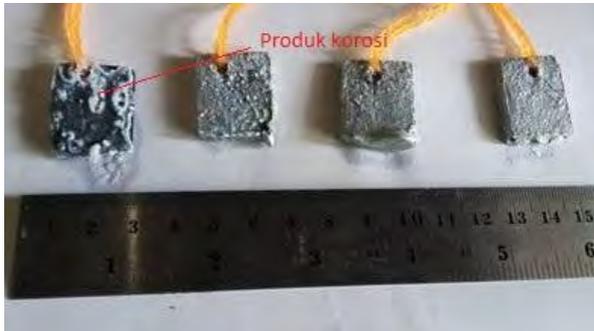
impak yang ditimbulkan kedalam lima kategori yang dapat dilihat pada Tabel 4.6

**Tabel 4.5.** Laju Korosi yang Diukur dalam  $g/cm^2/tahun$  untuk Lima Kelas yang Berbeda

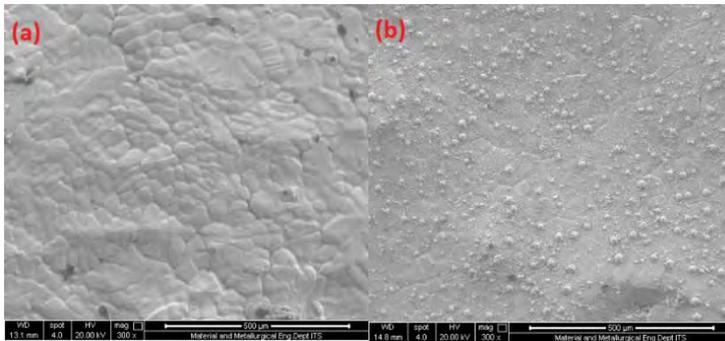
Class	Steel	Copper	Aluminum	Zinc
C1	$CR \leq 10$	$650 < CR$	Negligible	$CR \leq 0,7$
C2	$10 < CR \leq 200$	$0,9 < CR \leq 5$	$CR \leq 0,6$	$0,7 < CR \leq 5$
C3	$200 < CR \leq 400$	$5 < CR \leq 12$	$0,6 < CR \leq 2$	$5 < CR \leq 15$
C4	$400 < CR \leq 650$	$12 < CR \leq 25$	$2 < CR \leq 5$	$15 < CR \leq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

Berdasarkan data laju korosi yang diperoleh maka laju korosi spesimen uji lapisan galfan termasuk ke dalam golongan C1. Berdasarkan ISO 12944 C1 termasuk ke dalam korosi yang sangat rendah. Menurut Maafs (2009), klasifikasi laju korosi C1 merupakan laju korosi yang sangat lambat (*insignificant*).

Produk korosi yang terjadi pada lapisan galfan juga dapat dilihat pada Gambar 4.12. Berdasarkan Gambar 4.12 dapat disimpulkan bahwa produk korosi yang terjadi pada lapisan galfan berwarna putih. Hal ini bisa terjadi karena pada sample uji variable waktu celup 1 menit lapisan galfan tidak mampu mengcover seluruh bagian permukaan baja, sehingga ada bagian dimana baja tidak terlapsi dengan lapisan galfan.



**Gambar 4.12.** Spesimen Uji Setelah Pengujian Korosi



**Gambar 4.13.** Morfologi Permukaan Lapisan Galvan (a) Sebelum dan (b) Setelah Terkorosi dalam NaCl 3,5% dengan Perbesaran 300x Variabel Waktu Celup 5 Menit.

Jika melihat morfologi permukaan lapisan galvan pada gambar yang telah terkorosi dalam lingkungan NaCl 3,5% selama 10 hari secara mikro dengan perbesaran 300x maka dapat diamati perbedaan yang terjadi. Jika dilihat pada gambar 4.13 (b) terlihat dengan jelas adanya titik-titik putih yang sebelumnya tidak terlihat pada morfologi permukaan lapisan galvan yang belum terkorosi dengan perbesaran yang sama yang tersebar secara merata di permukaan lapisan galvan. Perubahan itu disebabkan oleh terbentuknya lapisan pasif yang disebabkan oleh logam

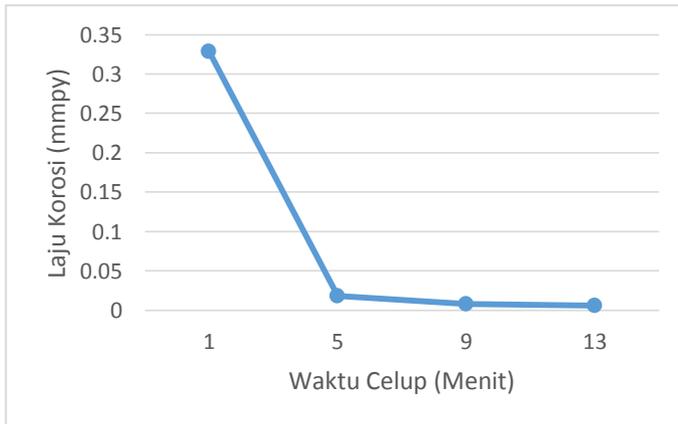


aluminium, lapisan pasif ini menghambat peristiwa korosi pada lapisan. Lapisan pasif ini terbentuk akibat adanya reaksi oksidasi pada aluminium menjadi oksida sehingga menghasilkan lapisan tipis yang menghambat penetrasi ion  $\text{Cl}^-$  ke dalam lapisan galvan. Menurut Panossian (2005), aluminium dan lapisan paduan aluminium memiliki kecenderungan untuk membentuk lapisan pasif dalam lingkungan yang tidak terlalu banyak mengandung ion klorida. Senyawa kimia lapisan pasif yang terbentuk pada spesimen uji 5, 9, dan 13 menit adalah  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ . Reaksi pembentukan oksida lapisan galvan adalah sebagai berikut:



Hasil pengujian korosi juga menunjukkan bahwa lapisan pasif ini mampu menahan penetrasi ion  $\text{Cl}^-$  ke dalam substrat karena tidak ditemukan adanya senyawa produk korosi pada pengujian XRD yang telah dilakukan.

Apabila data hasil pengujian laju korosi ditampilkan dalam sebuah grafik, maka didapatkan grafik pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14.** Grafik Pengaruh Waktu Celup Terhadap Nilai Ketahanan Korosi



---

Berdasarkan grafik pada gambar 4.14 dapat dilihat bahwa laju korosi yang paling tinggi terjadi pada waktu celup satu menit, hal ini dikarenakan lapisan tidak terlapisi dengan baik. Setelah itu laju korosi mengalami penurunan secara drastis dikarenakan lapisan yang tedeposit ke dalam substrat baja berlangsung dengan baik sehingga spesimen uji terlapisi dengan baik. Penurunan laju korosi terus terjadi sehingga ketahanan korosi pada lapisan galvan untuk variabel waktu celup 5, 9, dan 13 relatif sama.

---



## LAMPIRAN

- **Perhitungan Larutan NaCl 3,5%**

$$\begin{aligned} \rho_{\text{campuran}} &= \rho_{\text{air}} + \rho_{\text{NaCl}} \\ &= (\rho_{\text{air}} \times 96,5\%) + (\rho_{\text{NaCl}} \times 3,5\%) \\ &= (0,965 \text{ gr/ml} \times 96,5\%) + (2,16 \text{ gr/ml} \times \\ &\quad 3,5\%) \end{aligned}$$

$$= 1,006825 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Massa larutan} = \text{massa jenis campuran} \times \text{volume total}$$

$$= 1,006825 \text{ gr/ml} \times 500 \text{ ml}$$

$$= 503,4125 \text{ gr}$$

$$\text{Massa NaCl} = \% \text{NaCl} \times \text{Massa Larutan}$$

$$= 0,035 \times 503,4125 \text{ gr}$$

$$= 17,619 \text{ gram}$$

- **Perhitungan Laju Korosi**

Rumus perhitungan laju korosi

$$CR = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$$

$$CR = \text{Corrosion Rate (mmpy)}$$

$$K = \text{Konstanta Faktor } (8,76 \times 10^4)$$

$$W = \text{Weight loss (gram)}$$

$$A = \text{Surface Area (cm}^2\text{)}$$

$$T = \text{Time of Exposure (hours)}$$



1. Perhitungan Laju Korosi untuk Variabel Waktu Celup 1 Menit

$$CR = \frac{0,1155 \text{ gram} \times 8,76 \times 10^4}{\frac{7,14 \text{ gram}}{\text{cm}^3} \times 17,956 \text{ cm}^2 \times 240 \text{ hours}}$$

$$= 0,328819573 \text{ mmpy}$$

2. Perhitungan Laju Korosi untuk Variabel Waktu Celup 5 Menit

$$CR = \frac{0,0065 \text{ gram} \times 8,76 \times 10^4}{\frac{7,14 \text{ gram}}{\text{cm}^3} \times 17,956 \text{ cm}^2 \times 240 \text{ hours}}$$

$$= 0,018505008 \text{ mmpy}$$

3. Perhitungan Laju Korosi untuk Variabel Waktu Celup 9 Menit

$$CR = \frac{0,0027 \text{ gram} \times 8,76 \times 10^4}{\frac{7,14 \text{ gram}}{\text{cm}^3} \times 17,956 \text{ cm}^2 \times 240 \text{ hours}}$$

$$= 0,007686696 \text{ mmpy}$$

4. Perhitungan Laju Korosi untuk Variabel Waktu Celup 13 Menit

$$CR = \frac{0,0022 \text{ gram} \times 8,76 \times 10^4}{\frac{7,14 \text{ gram}}{\text{cm}^3} \times 17,956 \text{ cm}^2 \times 240 \text{ hours}}$$

$$= 0,006263233 \text{ mmpy}$$

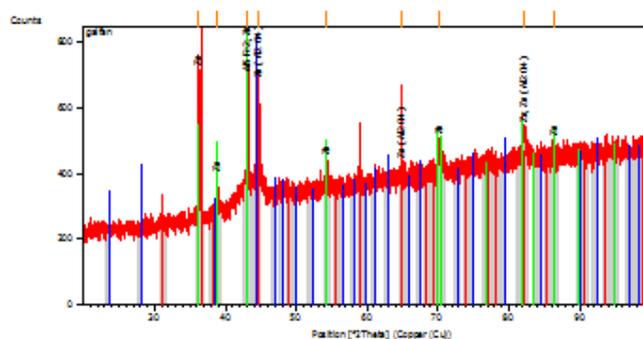
- Hasil XRD
-



This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets. Modify it according to your own needs and standards.

**Measurement Conditions:** (Bookmark 1)

Dataset Name	galfan
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian
2016\Juni\Ubrahim\galfan.xrdml	
Comment	Configuration=Reflection-Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM
2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001	Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Minimum step size
Minimum step size Phi:0.1	Sample stage=Reflection-Transmission Spinner PW3064/60;
	Diffractometer system=XPERT-PRO
	Measurement program=C:\PANalytical\Data
Collector\Programs\Scan 5-100.xrdmp, Identifier=(C78CBF8-4D80-41FE-BB3A-D3CC0DEEA88}	
Measurement Date / Time	6/21/2016 8:25:59 AM
Operator	Institut Teknologi
Raw Data Origin	XRD measurement (*.XRDML)
Scan Axis	Gonio
Start Position [°2Th.]	20.0084
End Position [°2Th.]	99.9764
Step Size [°2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1600
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [°2Th.]	2.12
Offset [°2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	0.2177
Specimen Length [mm]	10.00
Measurement Temperature [°C]	25.00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	0000000011119014
Diffractometer Number	0
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist Focus-Diverg. Slit [mm]	100.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No


**Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**

**Peak List: (Bookmark 3)**

Pos. [°2Th]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.2125	433.71	0.1506	2.48065	83.60
38.8697	92.10	0.1338	2.31697	17.75
43.0953	518.79	0.0669	2.09907	100.00
44.6035	346.38	0.3011	2.03154	66.77
54.2860	67.93	0.2676	1.68986	13.09
65.0030	27.64	0.8029	1.43478	5.33
70.1091	78.89	0.2007	1.34226	15.21
82.1200	80.91	0.5353	1.17369	15.60
86.3578	30.25	0.4015	1.12664	5.83

**Pattern List: (Bookmark 4)**

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-028-0043	29	Aluminum Iron	0.519	0.586	Al <sub>5</sub> Fe <sub>2</sub>
*	00-004-0831	47	Zinc	-0.154	0.654	Zn
*	01-075-9713	9	Zinc Aluminum Oxide	-0.111	0.744	Zn (Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )



---

**Document History:** (Bookmark 5)**Insert Measurement:**

- File name = "galfan.yrdml"
- Modification time = "6/21/2016 8:27:25 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

**Default properties:**

- Measurement step axis = "None"
- Internal wavelengths used from anode material: Copper (Cu)
- Original K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Used K-Alpha1 wavelength = "1.54060"
- Original K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Used K-Alpha2 wavelength = "1.54443"
- Original K-Beta wavelength = "1.39225"
- Used K-Beta wavelength = "1.39225"
- Irradiated length = "10.00000"
- Spinner used = "No"
- Receiving slit size = "0.10000"
- Step axis value = "0.00000"
- Offset = "0.00000"
- Sample length = "10.00000"
- Modification time = "6/21/2016 8:27:25 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

**Interpolate Step Size:**

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/21/2016 8:27:25 AM"
- Modification editor = "PANalytical"

**Search Peaks:**

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/17/2016 8:56:41 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

**Search & Match:**

- Allow pattern shift = "Yes"
  - Auto residue = "Yes"
  - Data source = "Profile and peak list"
  - Demote unmatched strong = "Yes"
  - Multi phase = "No"
  - Restriction set = "Untitled"
  - Restriction = "Restriction set"
  - Subset name = ""
  - Match intensity = "Yes"
-



- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "6/21/2016 8:28:41 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

#### Search & Match:

- Allow pattern shift = "Yes"
- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Profile and peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "No"
- Restriction set = "Untitled"
- Restriction = "Restriction set"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "6/21/2016 8:30:49 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

#### Search & Match:

- Allow pattern shift = "Yes"
  - Auto residue = "Yes"
  - Data source = "Profile and peak list"
  - Demote unmatched strong = "Yes"
-



- Multi phase = "No"
- Restriction set = "Untitled"
- Restriction = "Restriction set"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "6/21/2016 8:32:15 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

#### Search & Match:

- Allow pattern shift = "Yes"
- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Profile and peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "No"
- Restriction set = "Untitled"
- Restriction = "Restriction set"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "6/21/2016 8:34:04 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"



---

Search & Match:

- Allow pattern shift = "Yes"
- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Profile and peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "No"
- Restriction set = "Untitled"
- Restriction = "Restriction set"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "6/21/2016 8:35:48 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

[More items... \(Bookmark 6\)](#)

[More items... \(Bookmark 7\)](#)

[More items... \(Bookmark 8\)](#)

[More items... \(Bookmark 9\)](#)

[More items... \(Bookmark 10\)](#)

[More items... \(Bookmark 11\)](#)

[More items... \(Bookmark 12\)](#)

[More items... \(Bookmark 13\)](#)

[More items... \(Bookmark 14\)](#)

[More items... \(Bookmark 15\)](#)

---



---

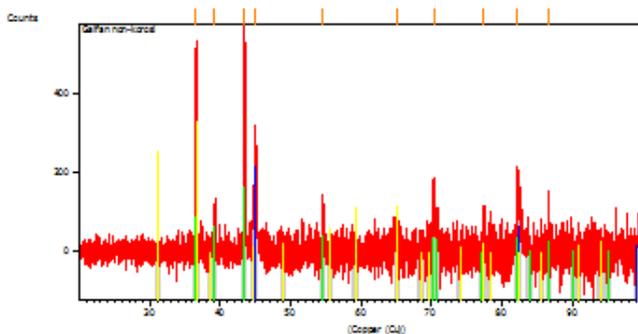
This is the simple example template containing only headers for each report item and the bookmarks. The invisible bookmarks are indicated by text between brackets.  
Modify it according to your own needs and standards.

**Measurement Conditions:** (Bookmark 1)

Dataset Name	Galfan Surface
File name	C:\DOCUME~1\TEKNIK~1\LOCALS~1\Temp\Rar\$Df62.969
\Galfan non-korosi.rd	
Comment	File created with <b>RDJ.L.</b> Nikos Kourkoum elis (nkourkou@cc.uoi.gr)
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (RD)
Scan Axis	None
Start Position	20.0100
End Position	99.9900
Step Size	0.0200
Scan Step Time [s]	411.2000
Scan Type	Continuous
Offset	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	0.1000
Measurement Temperature [°C]	549.25
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 35 kV
Diffractometer Type	Undefined
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)

---



**Peak List:** (Bookmark 3)

	Height [cts]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
36.5340	504.57	0.0984	100.00
39.1890	106.49	0.1968	21.10
43.4105	458.88	0.1574	90.94
44.9250	293.40	0.2755	58.15
54.6003	105.11	0.2362	20.83
65.0491	51.06	0.4723	10.12
70.3242	151.52	0.1574	30.03
77.4008	38.63	0.9446	7.66
82.2617	151.47	0.4723	30.02
86.6517	125.52	0.1440	24.88

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref Code	Score	Compound Name	Displacement [*2 $\theta$ ]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-008-0896	21	Iron	0.104	0.387	Fe
*	00-004-0831	32	Zinc	0.099	0.295	Zn
*	01-070-8185	8	Zinc Aluminum Oxide	-0.231	0.579	Zn Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>

**Document History:** (Bookmark 5)



- 
- File name = Gal50r korosi rd
  - Modification time = "6/20/2016 8:43:43 AM"
  - Modification editor = "Teknik Material"

**Search Peaks:**

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/17/2016 8:56:41 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

**Subtract Background:**

- Add to net scan = "Nothing"
- User defined intensity = ".5"
- Correction method = "Peak search"
- Bending factor = "10"
- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0"
- Maximum tip width = "0.5"
- Peak base width = "2"
- Use smoothed input data = "Yes"
- Granularity = "30"
- Modification time = "4/22/2016 8:48:42 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

**Search & Match:**

- Allow pattern shift = "Yes"
  - Auto residue = "Yes"
  - Data source = "Profile and peak list"
  - Demote unmatched strong = "Yes"
  - Multi phase = "No"
  - Restriction set = "Untitled"
  - Restriction = "Restriction set"
  - Subset name = ""
  - Match intensity = "Yes"
  - Two theta shift = "0"
  - Identify = "Yes"
  - Max. no. of accepted patterns = "10"
  - Minimum score = "10"
  - Min. new lines / total lines = "60"
  - Search depth = "10"
  - Minimum new lines = "5"
  - Minimum scale factor = "0.1"
  - Intensity threshold = "0"
  - Use line clustering = "Yes"
  - Line cluster range = "1.5"
  - Search sensitivity = "1.8"
  - Use adaptive smoothing = "Yes"
  - Smoothing range = "1.5"
-



- 
- Threshold factor = "3"
  - Modification time = "6/20/2016 8:44:20 AM"
  - Modification editor = "Teknik Material"

Search & Match:

- Allow pattern shift = "Yes"
- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Profile and peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "No"
- Restriction set = "Untitled"
- Restriction = "Restriction set"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "6/20/2016 8:45:29 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Search & Match:

- Allow pattern shift = "Yes"
  - Auto residue = "Yes"
  - Data source = "Profile and peak list"
  - Demote unmatched strong = "Yes"
  - Multi phase = "No"
  - Restriction set = "Untitled"
  - Restriction = "Restriction set"
  - Subset name = ""
  - Match intensity = "Yes"
  - Two theta shift = "0"
  - Identify = "Yes"
  - Max. no. of accepted patterns = "10"
  - Minimum score = "10"
  - Min. new lines / total lines = "60"
  - Search depth = "10"
  - Minimum new lines = "5"
  - Minimum scale factor = "0.1"
  - Intensity threshold = "0"
-



- 
- Use line clustering = "Yes"
  - Line cluster range = "1.5"
  - Search sensitivity = "1.8"
  - Use adaptive smoothing = "Yes"
  - Smoothing range = "1.5"
  - Threshold factor = "3"
  - Modification time = "6/20/2016 8:46:15 AM"
  - Modification editor = "Teknik Material"

More items... (Bookmark 6)

More items... (Bookmark 7)

More items... (Bookmark 8)

More items... (Bookmark 9)

More items... (Bookmark 10)

More items... (Bookmark 11)

More items... (Bookmark 12)

More items... (Bookmark 13)

More items... (Bookmark 14)

More items... (Bookmark 15)

---



POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA  
- LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 (T-MATERIAL) ITS Material : Aluminium Ingot  
 Customer : Sdr. Huffal Azhar F Dimension : -  
 Lab-no. : Uji Bahan Heat-no. : -  
 Operator : elham Ka. Laboratorium : M. THORIQ WAHYUDI  
 Date: 10/30/2015

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr
1	97.7	0.261	0.875	0.0537	0.121	0.0015	0.788	0.0248
2	97.7	0.255	0.854	0.0528	0.110	0.0012	0.789	0.0223
3	97.8	0.276	0.822	0.0519	0.0917	0.0010	0.785	0.0178
Ave	97.7	0.264	0.850	0.0528	0.107	0.0012	0.788	0.0216
	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr
1	0.0074	0.0125	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0513	0.0022	< 0.0001
2	0.0067	0.0138	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0516	0.0043	< 0.0001
3	0.0081	0.0127	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0547	0.0039	< 0.0001
Ave	0.0067	0.0130	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.0525	0.0034	< 0.0001
	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co
1	0.0067	0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0128	0.0028	0.0026
2	0.0091	< 0.0001	0.0013	< 0.0003	< 0.0002	0.0114	0.0030	0.0025
3	0.0072	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0113	0.0027	0.0024
Ave	0.0077	< 0.0001	< 0.0005	< 0.0003	< 0.0002	0.0118	0.0028	0.0025
	Ag	Hg	In	Sb	P	As	Ce	La
1	0.0028	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	< 0.0030	0.0071	0.0060	0.0031
2	0.0002	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0053	< 0.0030	0.0033	0.0018
3	0.0001	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0069	0.0045	0.0028	0.0026
Ave	0.0010	< 0.0010	< 0.0010	< 0.0050	0.0047	0.0038	0.0040	0.0025

Stamp: 30 Oktober 2015  
 elham  
 (elham A)

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

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

1. Penambahan lama waktu celup pada proses hot dip galvan memberikan pengaruh terhadap nilai ketebalan lapisan yang diperoleh, semakin lama waktu pencelupan maka nilai ketebalan lapisan semakin tinggi. Nilai ketebalan tertinggi adalah 288,9  $\mu\text{m}$
2. Penambahan lama waktu celup pada proses hot dip galvan memberikan pengaruh terhadap sifat adhesive, semakin lama waktu pencelupan maka nilai adhesive lapisan semakin tinggi.
3. Penambahan lama waktu celup pada proses hot dip galvan menghasilkan ketahanan korosi yang relatif sama (0.0185-0,0063 mmpy) jika spesimen uji tercover dengan baik (laju korosi rendah).

#### 5.2 Saran

1. Melakukan penelitian dengan *range* waktu pencelupan yang lebih lama.
2. Meminimalisir adanya *impurities* pada *molten metal* dan spesimen uji.
3. Melakukan preparasi permukaan (grinding) sebelum melakukan pengujian *X-Ray Diffraction*.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 1990. *ASM Metals Handbook Vol 13 10<sup>th</sup> Edition: Corrosion*
- Ahmad, Zaki. 2006. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier Science & Technology Books.
- Astuti K, Indri. 2008. *Studi Pengaruh Kadar Kromium Terhadap Kekerasan Lapisan Hasil Hot Dip Galvanizing pada Baja dari Spons Bijih Besi Laterit*. Jakarta: Skripsi Universitas Indonesia
- Avner, Sydney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy 2<sup>nd</sup> Edition*. Newyork: McGraw-Hill Book Company.
- Bach, Friedrich Wilhelm. et al. 2004. *Modern Surface Technology*. Garbsen: Thomas Wenz
- Bardal, Einar. 2003. *Corrosion and Protection*. Trondheim: The Norwegian University of Science and Technology.
- Callister, William D. 2010. *Materials Science and Engineering Introduction 8<sup>th</sup> Edition*. USA: John Willey & Son's Inc.
- Chen, Z. W. et al. 1992. *Intermetallic Phases Formed during Hot Dipping of Low Carbon Steel in a Zn-5 Pct Al Melt at 450°C*. Jurnal Metallurgical Vol. 23A
- Chung, S.C. et al. 2002. *The Lifetime Assesment of Hot-Dip 5%Al-Zn Coatings in Chloride Environments*. Journal of Surface and Coatings Technology
- Fontana, Mars G. 1987. *Corrosion Engineering 3<sup>rd</sup> Edition*. Ohio: Fontana Corrosion Center
- Goldschmidt and Streitberger. 2007. *BASF Handbook on Basics of Coating Technology 2nd revised edition*. Münster, Germany : Vincentz Network.
- Handani, Sri. et al. 2013. *Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 Dalam Medium Asam Klorida dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh*. Jurnal Fisika Unand Vol.2



- 
- Horn, Kent R Van. 1967. *Alumunium vol.1 Properties, Physical Metallurgy and Phase Diagram*. Ohio: American Society for Metals.
- Hosking, N C. et al. 2007. *Corrosion Resistance of Magnesium Coated Steel*. Journal Corrosion Science.
- Kanani, Naser. 2005. *Basic Principles, Processes and Practice*.
- Kurniawan, Yudha. et al. 2015. *Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon*. Jurnal Teknik ITS dengan Variasi Ketebalan Coating
- Berlin, Jerman : Elsevier Ltd.
- Lam, Dennis. et al. 2004. *Structural Steelwork 3<sup>rd</sup> Edition*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Maafs, Peter. 2011. *Handbook of Hotdip Galvanizations*. Weinheim: Willey-VCH
- Marder, A.R. 2000. *The Metallurgy of Zinc Coated Steel*. Bethlehem: Departments of Materials Science and
- Osorio, Wislei Riuper. 2004. *The Effect of The Dendritic Microstructure on The Corrosion Resistance of Zn-Al Alloys*. Journal of Alloys and Compound
- Panossian, Z. et al. 2005. *Steel Cathodic Protection Afforded by Zinc, Alumunium and Zinc/Alumunium Alloy Coatings in The Atmosphere*. Journal of Surface & Coatings Technology
- Paunovich, et al. 2010. *Fundamental Consideration – Modern Electroplating Fifth Edition*. New Jersey, USA. John Wiley & Sons.
- Ramadian, Angga. et al. *Pengaruh Temperatur dan Lama Celup pada Proses Hot Dip Galvanizing Elemen Pemanas Cold End Layer Air Heater PT PJB UP Gresik Unit 1*. Jurnal Teknik ITS
- Revie, R Winston. 2011. *Uhlig's Corrosion Handbook 3<sup>rd</sup> Edition*. Ontorio: A John Wiley & Sons, Inc.
- Rocha, L A. 1991. *Microstructure, Growth Kinetics, and Corrosion Resistance of Hot-Dip Galvanized Zn-5%Al*
-



- Coatings*. Journal of National Association of Corrosion Engineers
- Sari, Mitra Desi. et al. 2013. *Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 Dalam Medium Asam Klorida dan Natrium Klorida Menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh*. Jurnal Fisika Unand Vol 2 (3)
- Saripudin, Aep. 2010. *Pengaruh Waktu Galvanis Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Fe-Zn Pada Permukaan Ulir Baut Baja*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Gunadarma
- Schweitzer, Philip A. 2006. *Paint and Coating Applications and Corrosion Resistance*. New York: Taylor & Francis Group.
- Schweitzer, Philip A. 2007. *Fundamentals of Metallic Corrosion*. Taylor & Francis Group: United States.
- Shevla, G. 1985. *Vogel*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.
- Sloof, Willem G. 2011. *Effect of Alloying Element Segregation on The Work of Adhesion of Metallic Coating on Metallic Substrate: Application to Zinc Coatings on Steel Substrates*. Delf: Departement of Materials Science and Engineering
- Suherman, Wahid. 1999. *Ilmu Logam II*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sulistijono. 1999. *Diktat Kuliah Korosi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Surdia. et al. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik .cetakan kedua*. Jakarta: Pradnya paramita.
- Tachibana, Koji. et al. *Hot Dip Fine Zn and Zn-Al Alloy Double Coating for Corrosion Resistance at Coastal Area*. Journal Corrosion Science
- Thretewey, KR. 1991. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama
- Tsai, Tai Ming. 1995. *Protection of Steel Using Aluminum Sacrificial Anodes in Artificial Seawater*. *Journal of Marine Science and Technology*, Volume 4, No.1, Tahun 1995, halaman 17 – 21.
-



- 
- Tushinsky et al, 2002. *Coated Metal Structure and Properties of Metal-Coating Compositions*. New York, United States of America : Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- U.S Department of Transportation. 2003. *Metallic Material Properties Development and Standarization (MMPDS)*. Virginia: FAA William J. Hughes Technical Center
- Yulianto, Sulis. et al. 2012. *Pengaruh Waktu Tahan Hot Dip Galvanized Terhadap Sifat Mekanik, Tebal Lapisan, dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah*. Jurnal Teknik Mesin UMJ vol (2)
-

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Ibrahim. Lahir di Jakarta pada tanggal 24 Juli 1993. Penulis merupakan anak kelima dari 8 bersaudara. Penulis telah menempuh jenjang pendidikan di SDIT Al-hikmah Jakarta, SMPIT Al-hikmah Jakarta, MAN 4 MODEL Jakarta, dan sekarang menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Selama masa pendidikan penulis aktif berorganisasi. Pada tahun 2013/2014 penulis aktif menjadi staff Departemen Keilmiahaan HMMT FTI-ITS, staff Departemen Syi'ar Lembaga Dakwah Jurusan Ash-haabul Kahfi FTI-ITS, staff Departemen Kaderisasi Jamaah Masjid Manarul Ilmi ITS. Pada tahun 2014/2015 penulis menjadi Kepala Departemen Mentoring Lembaga Dakwah Jurusan Ash-haabul Kahfi FTI-ITS.

Penulis melakukan kerja praktik di PT. Pertamina EP ASSET 4 FIELD Cepu, dengan penelitian mengenai Korosi pada *pipeline* dalam lingkungan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S pada plan TBR 01, 02, 03. Kemudian penulis melakukan penelitian metallic coating di bidang korosi dan analisa kegagalan material sebagai bahan tugas akhir. Email yang dapat dihubungi yaitu [ibrahim.official@outlook.co.id](mailto:ibrahim.official@outlook.co.id).