



TUGAS AKHIR - TL 141584

PENGARUH WAKTU CELUP PROSES HOT DIP GALVALUM (Al55%-Zn-Si) TERHADAP SIFAT ADHESIVE, KETEBALAN LAPISAN DAN KETAHANAN KOROSI PADA BAJA API 5L GRADE B

Syarif Alamudi
NRP 2712 100 066

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, ST., M. Eng
NIP. 19760410 2002121003
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc
NIP. 198303252014041001

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TL 141584

**INFLUENCE OF HOT DIP GALVALUME (Al55%-
Zn-Si) IMMERSE TIME VARIATION TO THE
COATING ADHESIVE, COATING THICKNESS
AND CORROSION RESISTANCE ON API 5L
GRADE B STEEL**

**Syarif Alamudi
NRP 2712 100 066**

**Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, ST., M. Eng
NIP. 19760410 2002121003
Wikan Jatimurti, ST., M.Sc
NIP. 198303252014041001**

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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH WAKTU CELUP PROSES *HOT DIP*
GALVALUM (Al 55%-Zn-Si) TERHADAP SIFAT
ADHESIVE, KETEBALAN LAPISAN DAN
KETAHANAN KOROSI PADA BAJA API 5L GRADE B**

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 :
SYARIF ALAMUDI
NRP. 2712 100 066

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. (Pembimbing I)

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH WAKTU CELUP PROSES HOT DIP
GALVALUM (Al55%-Zn-Si) TERHADAP SIFAT
ADHESIVE, KETEBALAN LAPISAN DAN KETAHANAN
KOROSI PADA BAJA API 5L GRADE B**

Nama Mahasiswa : Syarif Alamudi
NRP : 2712100066
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing: Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstrak

Syarat untuk setiap coating dikatakan baik mencakup beberapa variabel yaitu ketebalan coating, kekekatannya, serta mampu memproteksi substrat. Pada penelitian kali ini diteliti pengaruh waktu celup terhadap ketebalan coating, kekekatan, serta ketahanan korosi yang ada. Penelitian dilakukan dengan menggunakan bahan substrat baja API 5L Grade B yang dilapisi dengan paduan Al55%-Zn-1,5%Si (Galvalum). Proses coating dilakukan dengan metode hot-dip menggunakan rentang waktu 1, 5, 9, 13 menit. Hasil dari penelitian ini lalu diuji dengan uji OES, SEM, ketebalan (DFT), kekekatan, korosi dan XRD. Dari penelitian didapatkan bahwa ketebalan dan kekekatan coating berbanding lurus dengan lama waktu celup hot dip yang memiliki nilai tertinggi masing-masing pada waktu celup 13 menit. Sementara untuk laju korosi masih terjadi penurunann signifikan pada waktu celup 5 menit dan setelahnya cenderung stagnan sebesar 0,0928 mpy.

Kata kunci: Hot dip Al55%-Zn, galvalum, waktu celup, baja API 5L Grade B

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**INFLUENCE OF HOT DIP GALVALUME (Al55%-Zn-Si)
IMMERSE TIME VARIATION TO THE COATING
ADHESIVE, COATING THICKNESS AND CORROSION
RESISTANCE ON API 5L *GRADE B* STEEL**

Name : Syarif Alamudi
NRP : 2712100066
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisors : Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng.
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.

Abstract

There are some requirements for a good coating which includes its thickness, adhesivity, and its ability to protect the substrate. In this research, the influence of immerse time to the coating thickness, adhesivity, and the corrosion resistance were investigated. This research used API 5L Grade B Steel as substrate which was coated by Al55%-Zn-Si alloy (Galvalume). Hot-dip method was used to deposit galvalume with immerse time 1, 5, 9, 13 minutes. After that, the coating results were tested with OES, SEM, DFT, adhesive test, corrosion test (salt spray method), and XRD test. Based on the results, the coating thickness and adhesivity increase as the increasing of immerse time and the highest values are at 13 minutes immerse time for every variable. For the corrosion test results, the corrosion rate decrease significantly as the increasing immerse time until 5 minutes. More than 5 minutes, the corrosion rate still decrease but tend to be stagnant with the corrosion rate value 0.0928 mpy.

Keywords: Hot dip Al55%-Zn, galvalume, Immerse time, API 5L *Grade B* Steel

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan limpahan karunia, terang pikiran, kesehatan, keselamatan, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul “**PENGARUH WAKTU CELUP PROSES *HOT DIP GALVALUM* TERHADAP SIFAT ADHESIVE, KETEBALAN LAPISAN DAN KETAHANAN KOROSI PADA BAJA API 5L *GRADE B*”**. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan, Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan kemampuan penulis dalam penyusunan laporan ini. Namun, penulis dapat mewujudkan laporan ini secara lengkap berkat adanya perhatian, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Dengan adanya kekurangan dan kesalahan dalam penulisan laporan ini. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menjadi evaluasi selanjutnya.

Demikian penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya khususnya bagi sesama mahasiswa yang menggeluti bidang pemodelan maupun pengolahan mineral.

Surabaya, Juli 2016
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
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	5
2.1 Teknologi Pelapisan	5
2.2 <i>Metallic Coating</i>	6
2.2.1 <i>Hot Dip</i>	7
2.2.2 <i>Hot Dip Zinc-55%Al</i>	9
2.3 Ketebalan <i>Coating</i>	11
2.4 Logam Zinc	12
2.4.1 Aplikasi Logam Zink.....	12
2.5 Logam Aluminium	15
2.6.1 Reaksi Elektrokimia.....	16
2.6.2 Laju Korosi.....	18
2.6.3 Korosi Air Laut	19
2.7 Baja API 5L	20
2.8 Penelitian Sebelumnya	23
BAB III METODOLOGI	29
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan.....	30
3.2.1 Bahan Percobaan	30
3.2.2 Alat Percobaan	30
3.3 Prosedur Percobaan	30

3.3.1 Preparasi Spesimen	30
3.3.2 Pembuatan Paduan Al55%-Zn-Si	30
3.3.3 Proses pencelupan (Immersing).....	31
3.3.4 Pengujian OES	31
3.3.5 Pengujian SEM.....	32
3.3.6 Pengujian XRD.....	33
3.3.7 Pengujian Ketebalan	34
3.3.8 Pengujian Kelekatan	3
3.3.9 Pengujian Laju Korosi	36
3.4 Rencana Penelitian	37
3.5 Timeline Penelitian	38
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Pengamatan Makro dan Mikro	39
4.1.1 Pengamatan Makro	39
4.1.2 Pengamatan Mikro.....	40
4.2 Pengujian OES	45
4.3 Pengujian Ketebalan.....	46
4.4 Pengujian Kelekatan.....	47
4.5 Pengujian Korosi	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN	63
UCAPAN TERIMA KASIH.....	83
BIODATA PENULIS.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan Laju Korosi pada berbagai paduan Al-Zn	11
Gambar 2.2 Baja API 5L Grade B	22
Gambar 2.3 Hasil Uji Weigh Loss untuk masing-masing coating (Li,2009)	25
Gambar 2.4 Makrostruktur Galvalum	27
Gambar 2.5 Hubungan Ketebalan vs Ukuran Kristal Galvalum ..	28
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian	29
Gambar 3.2 Alat Uji OES	32
Gambar 3.3 Alat Uji SEM	33
Gambar 3.4 Alat Uji XRD	34
Gambar 3.5 Alat Uji DFT	35
Gambar 3.6 Alat Uji Pull-off	35
Gambar 3.7 <i>Salt Spray Chamber</i>	37
Gambar 4.1 Spesimen Galvalum sebelum dan sesudah <i>dicoating</i>	40
Gambar 4.2 Hasil SEM Cross Section Galvalum	41
Gambar 4.3 Strukturmikro Galvalum <i>cross section</i> dan bagian <i>coating</i>	43
Gambar 4.4 Grafik XRD non korosi	44
Gambar 4.5 Grafik waktu celup vs ketebalan	47
Gambar 4.6 Gambar Spesimen Adhesive	49
Gambar 4.7 Grafik waktu celup vs Kelekatan	51
Gambar 4.8 Hasil SEM topografi 500 dan 100 kali	53
Gambar 4.9 Grafik waktu celup vs laju korosi	54
Gambar 4.10 Gambar spesimen korosi	54
Gambar 4.11 Grafik xrd korosi	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis proses <i>coating</i> untuk proses perlindungan permukaan.....	5
Tabel 2.2 Potensial Reduksi Baku	15
Tabel 2.3 Sifat-sifat Aluminium	16
Tabel 2.4 Konsentrasi Saturasi ekuilibrium oksigen dalam air ...	23
Tabel 2.5 <i>Mechanical strength API 5L</i>	25
Tabel 2.6 Komposisi kimia baja API 5L <i>grade B</i>	26
Tabel 3.1 Kondisi air laut (Li ,2001)	27
Tabel 3.1 Rencana Penelitian	37
Tabel 3.3 Timeline Penelitian.....	38
Tabel 4.1 XRD hasil galvalum	44
Tabel 4.2 Hasil OES	45
Tabel 4.3 Standard Komposisi Galvalum.....	46
Tabel 4.4 Tabel Hasil Uji Ketebalan.....	46
Tabel 4.5 Tabel Hasil Uji Kelekatan.....	48
Tabel 4.6 Hasil Uji Korosi	52
Tabel 4.7 Hasil XRD Sampel setelah korosi	54



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri adalah salah satu penggerak ekonomi yang vital didunia. Keperluan tenaga kerja yang tinggi serta kebutuhan material pada suatu industri membuatnya menjadi sektor penting yang tak bisa dipandang sebelah mata. Salah satu bidang perindustrian yang perkembangannya makin pesat dari tahun ketahun adalah industri dibidang energi khususnya industri perminyakan dan gas. Permintaan yang meningkat akan keperluan produk industri ini membuat industri minyak dan gas makin berkembang dan makin banyak mengeksplorasi tempat-tempat yang mampu menunjang perindustrian tersebut untuk memenuhi kebutuhan minyak dan gas dunia. Namun, di industri ini sering terjadi peristiwa korosi yang sifatnya merugikan. Definisi dari korosi sendiri adalah kerusakan atau proses terurainya material baik metal maupun nonmetal akibat terjadi reaksi dengan lingkungan. Dari sisi ekonomi, korosi sangat merugikan karena apabila suatu komponen dari industri tersebut terkena korosi yang kemudian membuat komponen tersebut mengalami kegagalan (*failure*) maka memerlukan biaya tak sedikit untuk memperbaiki atau mengganti alat tersebut, belum juga kerugian yang diderita apabila akibat dari korosi ini membuat berhentinya operasi industri tersebut, hali ini akan semakin memperparah kerugian perusahaan tersebut, karena tak ada pemasukan dan operasi selama jangka waktu tertentu padahal didalam perusahaan akan tetap ada pengeluaran yang cukup besar terutama untuk masalah upah dsb. Sementara, dari sisi lain seperti keselamatan kerja juga dapat menjadi sangat berbahaya, pipa minyak yang meledak biasanya terjadi akibat korosi yang terlambat ditangani. Karena lingkungan merupakan salah satu penyebab korosi, maka perlu diperhatikan apakah lingkungan tersebut korosif atau tidak.

Pada berbagai industri termasuk industri minyak dan gas , komponen dan alat-alat yang paling umum digunakan hampir



semuanya menggunakan material baja. Pada industri ini baik pipa minyak/gas, *storage tank*, konstruksi *platform offshore* dan sebagainya menggunakan material baja. Seperti yang diketahui, sebagian *plant* pengeboran minyak berada dilingkungan air laut (*offshore*), sehingga berada dilingkungan yang korosif. Lingkungan laut dikatakan korosif karena terdapat kandungan garam dan lingkungan alkali didalamnya seperti NaCl dan ion Cl^- yang merupakan media korosif (Fontana, 1987). Untuk menekan kerugian akibat korosi maka dilakukan berbagai macam cara proteksi korosi yang salah satunya menggunakan coating. Pada aplikasinya, coating adalah proteksi paling dini untuk perlindungan korosi.

Salah satu metode coating yang paling lama digunakan adalah metode hot dip, dan hot dip galvanizing adalah salah satu metode hot dip yang dikenal hasil coatingnya sangat baik dalam memperlambat laju korosi secara signifikan meskipun dalam lingkungan air laut. Hot dip galvanizing menggunakan logam Zinc (Zn) sebagai anoda tumbal untuk proteksi. Aplikasinya sering digunakan pada pipa, plat dan sebagainya. Zn digunakan karena potensial selnya lebih rendah dari Fe. Untuk penelitian kali ini logam pelapis yang digunakan adalah paduan Aluminium dan Zinc dengan komposisi Al55%-Zn atau biasa disebut dengan Galvalum. Aluminium ditambahkan karena proteksinya yg lebih baik dari Zn. Kelebihan proteksi anoda korban aluminium adalah *reliability* yang lebih lama serta karakteristik arus yang baik dan berat yang lebih ringan dibandingkan dengan anoda korban paduan seng (Tsai, 1996). Selain itu, pembentukan lapisan oksida Aluminium membuat proteksi menjadi lebih lama (Schweitzer, 2006).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirumuskan beberapa masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh waktu celup pada proses hot dip Al55%-Zn terhadap ketebalan lapisan?



2. Bagaimana pengaruh waktu celup pada proses hot dip Al55%-Zn terhadap sifat adhesive lapisan?
3. Bagaimana pengaruh waktu celup pada proses hot dip Al55%-Zn 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. Temperature proses dianggap konstan
3. Kondisi permukaan dianggap rata dan *uniform*

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. Al55%-Zn dapat dijadikan sebagai material pelapisan alternative bagi industri baja yang diaplikasikan dalam lingkungan air laut.
2. Dapat mengetahui pengaruh waktu celup Al55%-Zn terhadap ketebalan lapisan, sifat adhesive, dan sifat ketahanan korosi pada baja karbon rendah dalam lingkungan air laut.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi Pelapisan

Teknologi pelapisan atau yang biasa disebut dengan *coating* adalah teknik untuk melapisi suatu material pada permukaannya. Teknik ini dilakukan dengan tujuan untuk melindungi benda dari serangan lingkungan dengan melapisi/menutupi permukaannya yang merupakan bagian yang kontak dengan lingkungan, dengan demikian, umur benda yang dilapisi harapannya lebih panjang. Disatu sisi, *coating* juga dapat menekan biaya produksi atau *production cost* yang sangat berguna dalam industri karena dengan perpaduan material yang lebih murah tetapi pelapisan sesuai aplikasi maka harapan sifat material yang diharapkan terpenuhi, contohnya adalah baja struktur yang harganya murah, sifat mekanik dan *machineability* bagus, namun pada aplikasinya cenderung mudah terkorosi sehingga untuk mengatasinya biasanya dilakukan *coating* yang sifatnya sebagai *corrosion protection*.

Adapun jenis *coating* beragam sesuai yang tertera pada tabel 2.1 dapat melindungi permukaan suatu benda sehingga umur pakainya lebih panjang.

Tabel 2.1 Jenis proses *coating* untuk perlindungan permukaan benda (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>

Faktor penting yang perlu diperhatikan pada proses *coating* adalah proses *surface preparation* dan *pretreatment*, karena hal-hal tersebut dapat mempengaruhi hasil *coating* pada benda tersebut, biasanya cacat pada *coating* terjadi karena salah dalam melakukan *surface preparation* dan *pretreatment* tersebut. (Schweitzer, 2006)

2.2 Metallic Coating

Pelapis yang digunakan dalam sebuah proses *coating* bisa berupa coating organik, inorganik dan metal/logam. Pada pelapis berupa logam atau metallic coating untuk perlindungan korosi terdapat klasifikasi berdasarkan proses cara kerja elektrokimia pada perlindungan suatu benda. Jenis-jenis dari klasifikasi tersebut antara lain:

1. EMF control
2. Cathodic control protection
3. Anodic control protection
4. Mixed control protection
5. Resistance control protection

Selain proses proteksinya yang bermacam-macam, cara/metode pelapisan logam ini dapat dilakukan dengan berbagai



cara seperti dengan metode hot dip, electroplating, electroless plating, electrophoretic deposition, metal spray dsb. (Schweitzer, 2006)

2.2.1 Hot Dip

Hot Dip adalah salah satu proses coating yang paling tua dan paling dikenal. Pelapisan pada metode ini terjadi dengan cara mencelupkan logam kedalam leburan logam pelapisnya sehingga ketentuannya adalah temperatur lebur substrat/logam yang dilapisi harus lebih tinggi dari logam pelapisnya. Logam yang biasa digunakan sebagai korban/pelindung kecuali mangan (Mn) cocok untuk digunakan dalam proses hot dip. Proses ini juga telah digunakan pada tin, timbal (Pb) dan paduannya. Lembaran baja tipis dan kawat baja dicoating dengan metode continuous hot dip, sementara untuk cetakan pengecoran, pipa, dan hasil tempaan dicoating dengan batch process.

Reaksi yang cepat antara logam cair (pelapis) dan logam yang dilapisi sangat diperlukan dalam proses ini untuk menghasilkan ikatan coating antarmetal yang kuat. Selain itu, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, syarat untuk mencapai hasil coating yang bagus antara lain adalah proses surface preparation dan pretreatment yang baik. Adapun untuk proses pretreatment pada spesimen hot dip adalah sebagai berikut:

Degreasing → Pickling → Water Rinsing →
Fluxing/reducing → Hot Dipping

Proses degreasing dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pembersihan dengan proses melarutkan atau alkali. Proses melarutkan cocok untuk banyak logam yang dengan mudah larut pada larutan alkali, kecuali besi. Pelarut yang biasa digunakan dalam proses ini antara lain bensin, benzene, trichloroethylene atau perchloroethylene. Sedangkan pembersihan alkali digunakan untuk membersihkan minyak dan gemuk pada permukaan besi dan baja. Larutan pembersihan alkali yang biasa digunakan antara

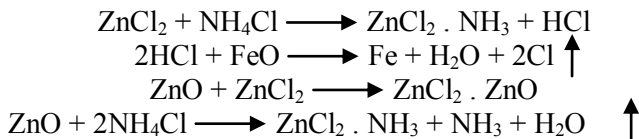


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

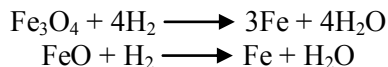
lain sodium hidroksida, sodium karbonat, sodium silikat, orthosodium silikat, sodium fosfat dan gabungannya. Setelah pembersihan, logam dibilas dengan air.

Untuk proses Pickling dilakukan dengan cara menyelupkan benda ke larutan asam yang diagitasi. Larutan dengan konsentrasi 10-20% asam klorida pada temperatur ruang atau 5-15% asam sulfat pada 60-80°C adalah larutan yang digunakan untuk besi atau baja. Asam klorida lebih bagus dari pada asam sulfat dalam kemampuan pencegahan karat dan *hydrogen embrittlement* serta kemungkinan blistering tidak muncul pada permukaan baja lebih besar pada pretreatment dengan asam klorida.

Kemudian, dilakukan proses fluxing. Proses ini dilakukan baik pada *batch* maupun pada proses *continous coating*. Pada pelapisan dengan menggunakan Zinc, pemaduan didapatkan dengan penghilangan FeO dari baja dan ZnO dalam leburan Zinc dengan flux $ZnCl_2$ dan NH_4Cl . Reaksi pada proses flux terjadi seperti berikut:



Proses reduksi digunakan dalam proses *continous coating* pada baja mengalami proses galvanizing dan aluminizing. Pada proses reduksi, permukaan baja teraktivasi. Lembaran baja dipanaskan dan lapisan tipis besi oksida tereduksi oleh gas hidrogen sesuai dengan reaksi:



Pada proses hot dip, ketika substrat metal dicelupkan kedalam leburan metal pelapis sebuah lapisan paduan akan terbentuk pada bagian permukaan kontak akibat difusi dari kedua metal baik



substrat maupun pelapis. Menempelnya hasil coating merupakan hasil dari terbentuknya lapisan paduan. Kondisi dari lapisan paduan mempengaruhi sifat mekanik dan kimia dari lapisan coating secara signifikan. Lapisan paduan ini dapat direduksi dengan penambahan elemen-elemen tertentu, dan dapat ditingkatkan dengan menebalkannya melalui proses pemanasan.

2.2.2 Hot Dip Zinc – 55% Aluminium

Coating jenis ini secara umum dikenal dengan sebutan Galvalum. Secara rincinya, komposisi ini terdiri dari 55% Aluminium, Zinc dan 1,5% Silikon. Paduan ini dijual dalam berbagai nama dagang seperti Zaluite, Aluzene, Alugalva, Algafort, Aluzinc dan Zinalume. Galvalum menghasilkan ketahanan korosi yang sangat bagus dan superior untuk aplikasi coating galvanis baik pada lingkungan perkotaan, industri, laut, dan lingkungan laut yang sangat korosif. Akan tetapi, paduan ini memiliki keterbatasan pada proteksi katodik dan kurang tahan pada kondisi alkali yang membuatnya mengalami *weathering*, *discoloritation*, dan *wet storage staining*. Dua kelemahan terakhir dapat diatasi dengan pasifasi kromat, yang juga meningkatkan ketahanan korosi atmosfernya.

Pada awalnya, laju korosi pada galvalum cukup tinggi karena terkorosinya daerah kaya zinc pada paduan tersebut yang kemudian menjadi proteksi korban (seperti anoda korban) pada sudut sudut potong lembaran galvalum. Hal ini terjadi pada lingkungan apapun, sementara aluminium menghasilkan perlindungan galvanik hanya pada lingkungan laut dengan klorida. Setelah sekitar 3 tahun, kurva laju korosi- waktu kontak menghasilkan *slope* yang lebih berjenjang, yang menunjukkan adanya perubahan dari fasa aktif kemungkinan dari zinc, dan pasif dari sifat aluminium sejalan dengan terisinya wilayah interdentrik dengan produk korosi. Hal ini telah diduga apabila lembaran galvalum lebih awet daripada baja galfanis pada ketebalan yang sama setidaknya hingga 2-4 kalinya pada berbagai kondisi lingkungan untuk ketahanan korosinya. Untuk perbandingan lebih



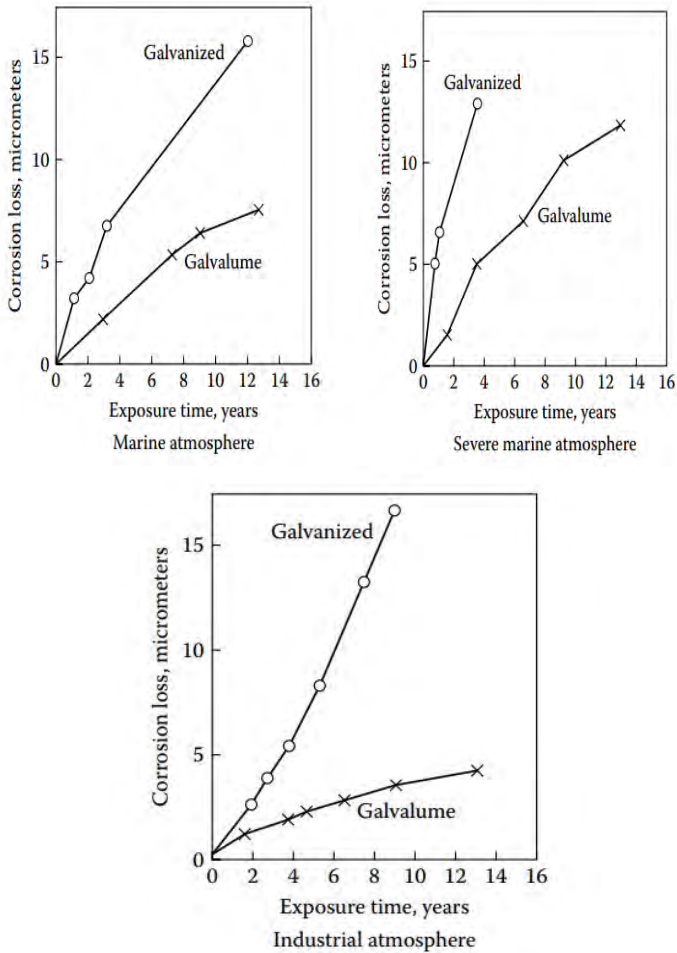
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

jelas, berikut adalah grafik perbandingan antara lembar galvalum dan lembar galvanis biasa pada beberapa kondisi lingkungan pada gambar 2.1.

Meskipun ketahanan korosi sangat bergantung pada komposisi dan keberadaan Al dan Zn, adanya Si sebesar 1,5 % berperan vital. Fungsi utama dari penambahan silikon adalah untuk menghambat pertumbuhan lapisan intermetalik ketika baja dicoating dengan proses hot dip. Tanpa silikon, proses pelapisan baja galvalum dengan proses hot dip tidak akan berhasil. Hal ini karena hasil coating dikatakan baik saat daya lekat (adhesi) nya kuat, sehingga saat produk dibentuk, coating tidak terlepas dan rusak. Permasalahan pada galvalum ini adalah pada lapisan intermetaliknya yang sangat keras dan getas sehingga perlu dijaga agar tebalnya seminimal mungkin (Bao, 2006).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.1 Perbandingan *Corrosion Loss* antara galvalum vs lembar galvanis pada lingkungan air laut (kiri atas), laut yang parah (kanan atas), dan lingkungan industri (bawah) setelah 13 tahun (Schweitzer, 2006)



Lembar galvalum menunjang proteksi yang sangat baik pada sudut potong suatu lembar metal pada kondisi lingkungan agresif sekalipun dimana permukaan tidak terlalu pasif. Akan tetapi, proteksi ini tidak sebaik proteksi pada plat yang lebih tebal pada kondisi perkotaan, dimana paduan zinc-5% Aluminium (galfan) menunjang ketahanan korosi secara keseluruhan. (Schweitzer, 2006)

2.3 Ketebalan Coating

Ketebalan coating adalah jarak antara permukaan *interface* logam dasar dengan pelapis dan lapisan terluar permukaan coating. Akan tetapi pada keperluan industri, hal ini perlu diperkirakan dan dihitung secara matang, karena berpengaruh ke biaya produksi. Ketebalan coating adalah salah satu bagian coating yang penting untuk dikarakterisasi, hal ini karena ketebalan berpengaruh atau dipengaruhi oleh sifat-sifat coating penting lainnya seperti ikatan antar logam dasar dengan coating dsb. Peningkatan ketebalan diatas titik maksimal ketebalan tidak hanya akan memberikan efek yang buruk terhadap sifat hasil coating, tetapi juga akan berdampak terhadap biaya, sementara ketebalan yang terlalu kurang juga kurang bagus untuk perlindungan logam. (Tushinsky, 2002).

Ketebalan deposit dapat dihitung dengan menggunakan volume deposit. Volume dari deposit didapat dari produk dari luas area *coated surface* dan ketebalan (tinggi) h , dengan $h = V/a$. Volume deposit berhubungan dengan tinggi dari deposit dan densitas dari deposit d dengan persamaan densitas yang diformulakan sebagai $d = w/V$, sehingga

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

(Paunovic et al,2010)

2.4 Logam Zinc

Karakteristik fisik Zinc sendiri berwarna putih-kebiruan dengan massa atom (Ar) 63,58. Titik leburnya adalah pada 425°C, sedangkan titik didihnya pada 906°C (ASM, 1996). Pada



temperatur kamar, seng bersifat sangat keras, namun apabila dipanaskan hingga 110-160°C sifat mekaniknya berubah menjadi ulet dan mudah ditempa. (Setiono, 1990)

Pada sistem periodik Zink termasuk unsur kimia golongan II B. Dibandingkan dengan unsur yang jarang terdengar seperti zirkonium, vanadium, dan stronsium, keberadaan zink masih lebih sedikit atau bisa dikatakan jarang meskipun lebih banyak daripada tembaga. Zink sudah terkenal sejak lama dalam bentuk paduan kuningan tembaga-zink. Di alam Zink biasanya didapat dalam bentuk sulfida, dan contoh bijihnya yang paling dikenal adalah spalerit atau *zinc blende*. Akan tetapi Zink juga masih bisa didapat juga dalam bentuk oksida seperti zink karbonat dan franklinite (campuran dari zink-mangan-besi oksida). Zink merupakan unsur penting untuk makhluk hidup karena menyangkut masalah kesehatan dan merupakan unsur penting yang diperlukan enzim untuk proses metabolisme.

Pada proses pengolahan dan pemurniannya, setelah jadi konsentrat, bijih dipanggang menjadi oksida, produksi oksida sulfur dalam jumlah besar akan menimbulkan pencemaran sehingga kemudian dilarutkan untuk menghasilkan sulfur atau asam sulfat. Adanya oksigen pada logam zink akan dikurangi dengan penambahan karbon untuk membentuk karbon monoksida atau zink dilarutkan dalam asam sulfat untuk membentuk zink sulfat, yang kemudian dielektrolisis dengan anoda inert timbal atau paduan timbal-perak 1% untuk memproduksi zink yang mengumpul pada katoda dan regenerasi asam sulfat yang digunakan untuk melarutkan lebih banyak bijih yang sudah dipanggang (Hosking, 2007).

2.4.1 Aplikasi Logam Zink (Zn)

Zink biasa diaplikasikan secara luas untuk produksi pengecoran paduan zink (*zinc alloy die casting*). Sekitar 41% pada aplikasi ini merupakan konsumsi zink di amerika serikat. *Zick casting* diperlukan dalam elektroplating karena kandungan yang tinggi dari zink. Dilain tempat zink digunakan untuk



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

galvanizing baja. Sekitar 38% dari aplikasi ini diaplikasikan pada plating baja dari zink. Jumlah terbesar untuk aplikasi *galvanizing* di dicapai dengan metode *hot dipping* (pencelupan), tetapi sebagian kecil elektro-galvanis dan pentingnya metode elektrolisis diharapkan dapat meningkat. Sekitar 12% dari produksi zink digunakan untuk membuat kuningan (paduan tembaga-zink) sehingga tiga aplikasi ini di antaranya mencapai lebih dari 90% dari semua penggunaan zinc (Frederick, 1978). Pada bidang otomotif pelapisan zink atau *galvanizing* pada baja secara terus menerus digunakan sebagai bahan konstruksi yang utama untuk badan kendaraan pada produksi massal. Ada pengembangan dalam industri otomotif untuk pindah ke lapisan seng alternatif yang menawarkan peningkatan ketahanan korosi tanpa meningkatkan ketebalan lapisan, ketebalan lapisan logam yang terlalu tebal (sampai dengan 75 μm) dapat mengurangi kesulitan pengolahan seperti *spalling* dari lapisan selama pembentukan dan pembentukan kuningan di tempat elektroda las. Pelapis dengan ketahanan korosi tersebut lebih unggul dibandingkan dengan baja galvanis karena dapat menghilangkan kebutuhan untuk perlindungan tambahan di daerah korosi yang sensitif seperti bagian tertutup dan celah-celah antara panel (Hosking, 2007).

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

**Tabel 2.2** Potensial reduksi baku (Trethewey, 1991)

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

Lapisan logam zink yang digunakan sebagai pelapis ini sering dikenal sebagai lapisan deposit zink, dimana lapisan deposit sangat penting sebagai lapisan pasif (*passive layer*) yang bertindak sebagai pelindung dari lingkungan yang berupa air dan udara (Alia, 2011). Selain menggunakan langsung dari unsur zink, untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dapat juga dipakai paduan zink. Secara umum zink alloy bisa meningkatkan ketahanan terhadap korosi yang lebih baik, tetapi memiliki kelemahan yaitu pelaksanaan elektrolisis yang rumit. Oleh karena itu pengembangan untuk lapisan baru dan sederhana serta murah masih merupakan masalah yang terjadi pada elektroplating.

Dari segi lapisan coating, untuk memiliki ketahanan terhadap korosi lebih baik bisa juga menggunakan metode *multi layer*. Dengan menggunakan beberapa logam sebagai



pelindungnya. Dan dari beberapa logam yang bisa membentuk multi layer adalah antara logam zink dan logam crom dengan memberikan batas antara kedua logam tersebut. (Protsenko, 2010)

2.5 Logam Alumunium (Al)

Aluminium adalah logam dengan massa atom 26,97, berstruktur kristal FCC dan berwarna putih cenderung silver agak mengkilap. Titik leburnya berada pada 678°C. Aluminium termasuk logam yang dapat dikatakan ringan (massa jenis = 2700kg/m³), memiliki ketahanan korosi yang baik dan juga kekuatan serta cukup ulet dan material konduktor yang cukup baik. 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 (ASM, 1995). Adapun sifat-sifat fisik aluminium murni ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat-sifat Fisik Aluminium (Surdia, 1992)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99.996	>99.0
Massa Jenis	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 Pemuaian (20-100°C)	23.86 x 10 ⁻⁶	23.5 x 10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, a = 4.013 Å	FCC, a = 4.04 Å



2.6 Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai kerusakan dari suatu material karena bereaksi dengan lingkungan. Beberapa pendapat mengatakan korosi hanya terjadi pada logam saja, namun korosi seharusnya juga bisa terjadi pada non logam juga, karena apabila mengacu pada definisi yang telah disebutkan tadi, maka polimer yang mengalami reaksi yang kemudian merusak atau mengurangi nilai gunanya dapat dikatakan mengalami peristiwa korosi. Korosi yang terjadi merupakan reaksi elektrokimia karena terjadi akibat adanya transfer elektron dengan proses redoks. Korosi dapat terjadi secara cepat maupun lambat. Ketahanan korosi dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain proses elektrokimia, proses secara fisik maupun kimiawi (reaksi), faktor metallurgi, dan termodinamika karena temperatur mempengaruhi laju reaksi yang terjadi.

2.6.1 Reaksi Elektrokimia

Elektrokimia pada proses korosi dapat diilustrasikan dengan serangan pada logam Zink dalam larutan asam klorida. Ketika Zink bercampur dengan asam klorida, terjadi reaksi yang sangat kuat dimana gas hydrogen menguap dan zink larut, membentuk larutan zink klorida dengan reaksi sebagai berikut:



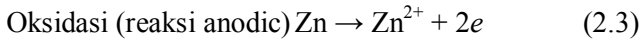
Tidak ada ion klorida yang tidak terlibat dalam reaksi, persamaan ini dapat dituliskan dalam bentuk yang lebih sederhana:



Oleh sebab itu, Zinc dalam larutan asam bereaksi dengan ion hidrogen untuk membentuk ion zink dan gas hydrogen. Melihat persamaan di atas, dapat dibuktikan selama reaksi berlangsung, zink teroksidasi menjadi ion zink dan ion hydrogen

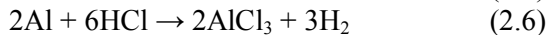


tereduksi menjadi hydrogen sehingga persamaan (2.2) dapat disederhanakan menjadi dua reaksi yaitu oksidasi dari zink dan reduksi dari ion hydrogen.

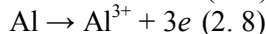
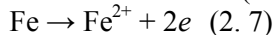
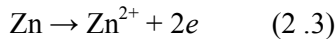


Oksidasi atau reaksi anodic terjadi karena adanya kenaikan valensi atau produksi electron. Penurunan pengisian valensi atau konsumsi dari electron menandakan reduksi atau reaksi katodik.

Korosi yang terjadi pada 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-bagian reaksi akan membuat reaksi lebih mudah untuk dipahami. Besi dan aluminium, seperti zink, sama halnya cepat terkorosi oleh asam klorida. Reaksinya adalah:



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



2.6.2 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 akan 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^3)

A = area of specimen (sq. in.)

T = exposure time (hour)

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

2.6.3 Korosi Air Laut

Struktur baja seperti tiang-tiang, struktur *offshore*, vessels, dan struktur lain dikatakan berada dalam lingkungan air laut apabila tercelup di dalam air laut. Baja struktur dalam air laut akan terkena lima zona, yaitu atmospheric, splash, tidal, submerged, dan zona seabed-embedded. Karakteristik korosi dan perilaku korosi dari baja pada setiap zona berbeda pada beberapa peralatan, seperti sistem permesinan dan perpipaan yang digunakan di industry air laut, juga terkena korosi air laut.

Sementara penanggulangan terhadap korosi air laut sudah tersedia, seperti aplikasi pelapisan, inhibisi, dan proteksi katodik. Korosi pada baja tanpa proteksi korosi sangat berbahaya karena beberapa baja struktur yang digunakan tanpa proteksi dan juga karena sistem proteksi korosi dalam lingkungan air laut sangat



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

rentan terjadi kerusakan akibat *pitting*, membiarkan waktu yang lama untuk korosi sebelum terdeteksi dan diperbaiki, selain itu memungkinkan terjadinya *crack* akibat tegangan yang masih terjebak pada struktur. (ASM, 1995)

Korosi pada baja dalam air laut dapat dikontrol oleh laju supply oksigen yang terlarut menuju permukaan baja, sama seperti korosi pada air. Laju supply oksigen, ditentukan oleh konsentrasi oksigen dalam air laut, derajat perpindahan dari air laut, koefisien difusi untuk oksigen dalam air laut, dan karakteristik dari film produk korosi pada permukaan baja sebagai penghalang untuk difusi oksigen.

Konsentrasi oksigen pada permukaan air biasanya mendekati nilai keseimbangan saturasi dengan atmosfer, yang berbanding terbalik dengan temperature dan salinitas dari air laut. Karena variasi salinitas pada permukaan air relative kecil dan tidak begitu mempengaruhi kelarutan oksigen, temperatur adalah factor utama yang mempengaruhi konsentrasi oksigen. (Winston, 2011)

Tabel 2.4 Konsentrasi Saturasi equilibrium dari oksigen dalam air laut sebagai fungsi dari temperature dan salinitas (Winston, 2011)

Temperature (°C)	Oxygen Solubility (ppm) at Indicated Salinity (ppt)					
	0	8	16	24	31	36
0	14.6	13.9	13.1	12.4	11.8	11.4
5	12.5	11.9	11.3	10.7	10.2	9.9
10	10.9	10.4	9.8	9.4	8.9	8.7
15	9.5	9.1	8.7	8.2	7.9	7.7
20	8.5	8.5	7.7	7.3	7.0	6.8
25	7.6	7.2	6.9	6.6	6.3	6.2
30	6.8	6.5	6.2	6.0	5.7	5.6

2.7 Baja API 5L

Pipa adalah istilah untuk benda silinder yang berlubang dan digunakan untuk memindahkan zat hasil pemrosesan seperti



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

cairan, gas, uap, zat padat yang dicairkan maupun serbuk halus. Material yang digunakan sebagai pipa sangat banyak diantaranya adalah: beton cor, gelas, timbal, kuningan (brass), tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, baja karbon, dan baja paduan. Pemilihan material pipa akan sangat membingungkan sehingga perlu pemahaman mendalam untuk apa saluran/sistem pipa itu dibuat, mengingat setiap material memiliki keterbatasan dalam setiap aplikasinya. Material yang paling umum digunakan adalah pipa baja karbon. (Rini Riastuti, 2011)

Pemilihan bahan untuk tujuan pemipaan khususnya pipa minyak dan gas adalah suatu proses yang memerlukan pertimbangan yang tepat untuk pelayanan yang diperlukan. Bahan yang dipilih harus benar-benar aman dan tahan terhadap kondisi operasi, suhu, dan tekanan selama umur perancangan yang diinginkan. Kekuatan mekanik harus memadai untuk pelayanan jangka panjang dan mampu menahan perubahan operasi, misalnya siklus panas atau mekanis. Selain itu lingkungan sekitar sistem pemipaan dan komponennya beroperasi juga harus dipertimbangkan. Perubahan sifat-sifat bahan atau hilangnya beban efektif yang merubah luas penampang dapat terjadi melalui korosi, erosi atau kombinasi keduanya. Kemampuan bahan yang dipilih untuk dibengkokkan atau dibentuk, kecocokan untuk pengelasan atau metoda penyambungan lainnya, kemudahan perlakuan panas, keseragaman atau homogenitas dan kestabilan dari struktur mikro dan sifat-sifat bahan memberikan andil pada kelayakan ekonomis dari pipa yang dipilih. (ASM Handbook, 2005)

Pipa yang digunakan pada industri migas adalah jenis pipa baja karbon rendah dengan produk standar API (*American Petroleum Institute*) spesifikasi 5L. Termasuk dalam jenis pipa ini adalah jenis pipa tanpa las (seamless pipe) dan jenis pipa las (welded pipe). Jenis kelas API 5L ini adalah A25, A, B, X42, X46, X52, X56, X60, X65, dan X70. Dimana komposisi kimia dan sifat-sifat mekanisnya dari tiap jenis berbeda. Penampakan baja API 5L grade B dapat dilihat pada gambar 2.1 dan untuk



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

yield strength dan mechanical strength untuk baja API 5L dapat dilihat pada tabel 2.6.



Gambar 2.2 API 5L grade B *carbon steel pipe*

Tabel 2.5 *Yield Strength dan Mechanical Strength* berbagai Macam Baja API 5L

Grade	Yield Strength (MPa)	Mechanical Strength (MPa)
A	172	310
A	207	331
B	241	414
X	290	414
X	317	434
X	359	455
X	386	490
X	414	517



Grade	Yield Strength (MPa)	Mechanical Strength (MPa)
65	448	531
70	483	565

Dalam penelitian ini, material pipa yang digunakan adalah baja karbon rendah API 5 L *grade B*. Spesifikasinya dapat dilihat pada table 2.7. (Standard API, 2004)

Tabel 2.6 Komposisi Kimia Pipa API 5 L *Grade B*

Elemen	Kadar (%)
Carbon	0,22
Mangan	1,2
Phospor	0,025
Sulfur	0,015
Titanium	0,04

Pipa API 5 L banyak digunakan dalam industri minyak dan gas baik onshore maupun offshore. Maksud dari API 5 L *Grade B* adalah

- API : *American Petroleum Institute*
- 5 : Seri yang digunakan untuk *Tubular Goods (ex: Casing, Tubing, Pipeline)*
- L : *Line Pipe*
- B : *Grade yang berhubungan dengan sifat mekanik material dan komposisi kimianya*

2.8 Penelitian Sebelumnya

Studi mengenai ketahanan korosi *coating hot dip Al55%-Zn* pada lingkungan air laut telah dilakukan oleh Yan Li. Substrat yang digunakan adalah baja dengan spesifikasi yang tidak disebutkan. Perbandingan yang diberikan untuk galvalum ini adalah *galvanized steel* dan baja dengan *coating paduan Al25%-*



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Zn. Pengujian korosi dilakukan dengan metode *weight loss* selama 18 bulan dalam air laut Zoushan dengan keadaan lingkungan dijelaskan seperti pada tabel 2.8 dan uji polarisasi. Ketebalan lapisan coating yang digunakan sebesar 37,7 μm masing-masing spesimen.

Tabel 2.7 Keadaan lingkungan air laut (Li, 2001)

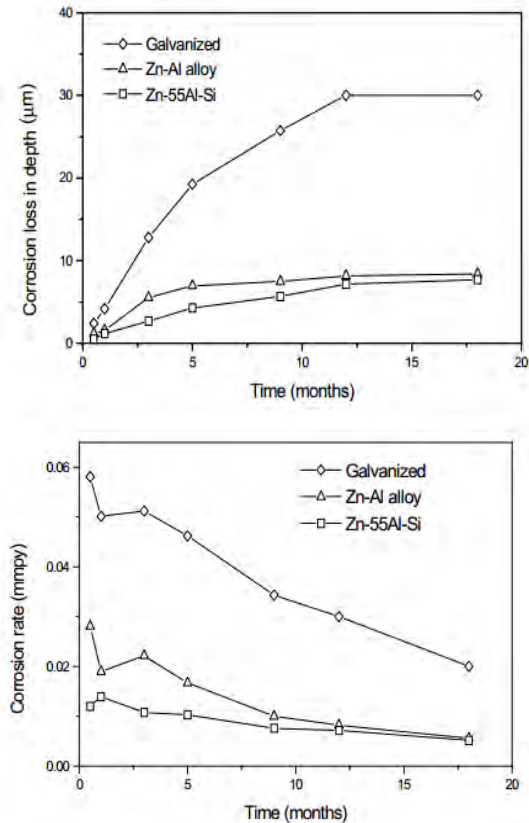
Longitude, latitude	Salinity (mg/L)	Oxygen (ml/L)	pH	Average temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Average tide level (m)
29 $^{\circ}$ 59'N, 122 $^{\circ}$ 02'E	26	8.82	8.14	17	2.08

Hasil dari uji korosi sebagai berikut, laju korosi paling cepat terjadi pada *galvanized steel* disusul Al25%-Zn lalu galvalum dengan laju korosi masing-masing 58×10^{-3} mmpy, 28×10^{-3} mmpy, dan 12×10^{-3} mmpy. Lebih lengkapnya untuk tren korosinya dapat dilihat pada gambar 2.3.

Sementara secara visual, setelah 18 tahun didalam lingkungan air laut, pada galvanized steel permukaannya telah tertutupi oleh karat berwarna merah, berbeda dengan paduan Al25%-Zn yang masih sedikit kadar karat merahnya. Namun, untuk galvalum menunjukkan permukaan yang masih bagus, yang tidak ada korosi merah sama sekali, yang menunjukkan tidak ada korosi sama sekali dari substrat.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

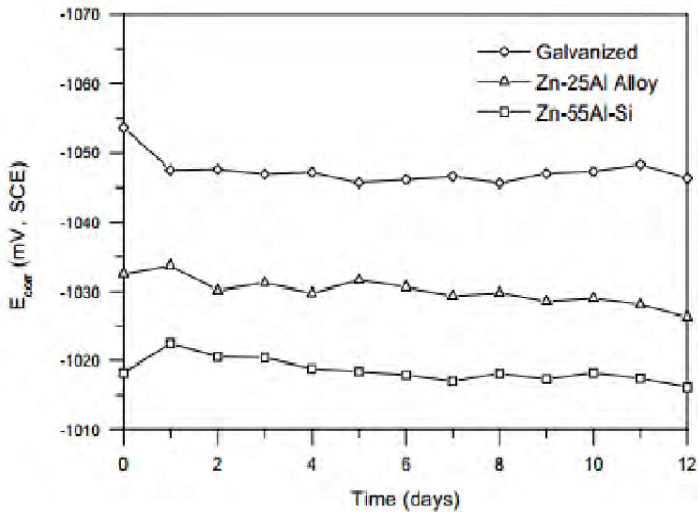


Gambar 2.3 Hasil uji *Weigh Loss* pada masing-masing *coating* (Li, 2001).

Sementara untuk hasil uji polarisasi dapat dilihat pada gambar 2.4 dimana galvalum tetap mendominasi ketahanan korosi diantara ketiga jenis *coating* tersebut.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.4 Hasil uji polarisasi pada masing-masing *coating* (Li, 2001).

Galvalum pada uji ini menunjukkan nilai E_{corr} paling positif yang kemudian dapat dijadikan alasan dibalik kuatnya galvalum terhadap lingkungan air laut. Sebenarnya, untuk ketiga jenis *coating* tersebut sudah cukup membuat baja mendapat proteksi selama beberapa waktu karena untuk proteksi katodik baja harus mendapat E dibawah -880mV agar imun. Kelebihan dari yang ditawarkan paduan dengan Al adalah saat *galvanized steel* berada dilingkungan air laut, zink akan terkorosi begitu saja dan habis karena reaksi galvanik, berbeda dengan paduan Al-Zn yang ketika berada di air laut memiliki proteksi tambahan, pertama berupa produk korosi dari Zn yang terkorosi dan masih tersisa di permukaan, lalu ditambah dengan proteksi dari Aluminium yang memberi proteksi tambahan dengan adanya lapisan pasif Al_2O_3 . Dan pada coating Al-Zn daerah dengan Zn yang akan terkorosi lebih dahulu baru kemudian Aluminium, jadi reaksi tidak terjadi secara bersamaan. Reaksi tersebut tidak terjadi

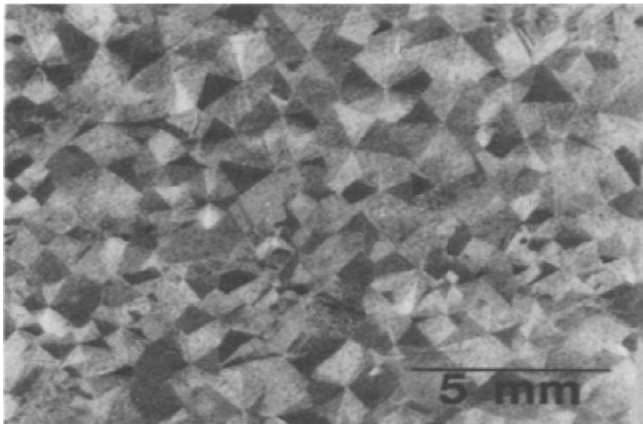


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

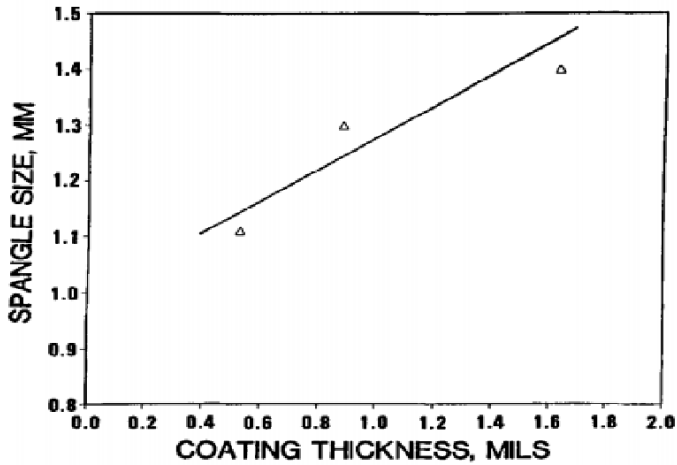
secara bersamaan karena fasa dari Al-Zn berada pada fasa tidak-larut-padat (Li, 2001).

Sementara itu, pada penelitian lain Selverian dkk mencoba melakukan penelitian untuk meneliti mikrostruktur galvalum dengan variasi waktu celup (*dipping time*). Penelitian yang dilakukan menggunakan coating galvalum pada baja. Tujuan dari penelitian mereka adalah mengetahui pengaruh waktu celup terhadap ketebalan dan mikrostruktur deposit. Variasi waktu celup yang digunakan adalah 4, 25, 100, 256, 400, 900, dan 1800 detik. Penelitian dilakukan dengan melakukan *surface preparation*, setelah itu melakukan *hot dip* dengan variasi waktu tersebut, kemudian spesimen yang telah dicelup di-*quench* didalam air.

Hasil dari penelitian tersebut terhadap ketebalannya adalah semakin lama waktu pencelupan semakin tebal pula deposit *coating* tersebut. Hal ini dapat ditemukan dari makrostruktur galvalum yang bentuknya seperti kelap-kelip seperti pada gambar 2.5 yang makin besar ukuran *grain size*-nya seiring dengan makin bertambahnya *dipping time*. Ukuran dari tiap-tiap *grain* inilah yang nanti akhirnya dijadikan sebagai fungsi ketebalan deposit (Selverian, 1987). Grafik hubungannya dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.5 Makrostruktur Galvalum (Selverian, 1987)



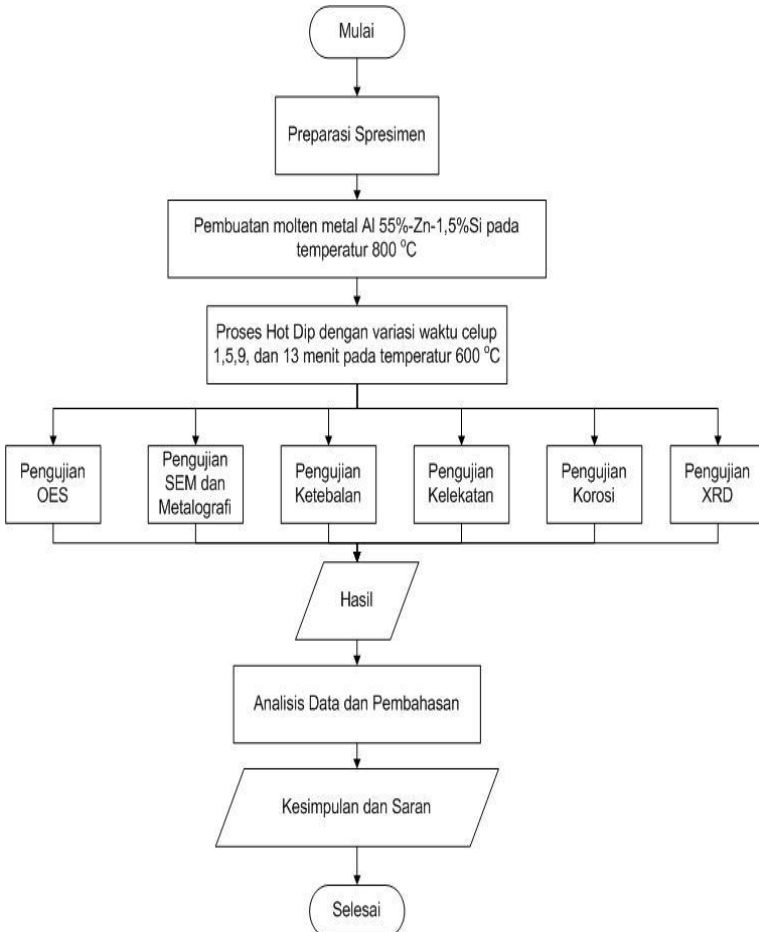
Gambar 2.6 Grafik hubungan ukuran *grain size spangle* terhadap ketebalan deposit (Selverian, 1987)





**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. Ingot Aluminium
2. Ingot Zink (seng)
3. Ingot alloy Al-10,5%Si
4. Baja API 5L Grade B

3.2.2 Alat Percobaan

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

1. *Furnace*
2. SEM
3. *Thickness meter*
4. XRD
5. Neraca digital
6. *Adhesion Tester*
7. *Salt Spray Chamber*
8. *Crucible*

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 *coating* dapat berlangsung dengan baik serta deposit lapisan hasil *coating* dapat menempel dengan baik. Preparasi awal pada sampel akan mempengaruhi kualitas hasil dari elektroplating pada spesimen. Semakin baik preparasi awal sampel maka kualitas elektroplating yang melekat permukaan sampel akan semakin baik pula, begitu juga sebaliknya.

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



1. Spesimen dipotong dengan ukuran 5 x 3 x 0,3 cm, lalu spesimen diampas. Pengampelasan spesimen untuk membersihkan pengotor-pengotor yang ada di permukaan spesimen
2. Pembersihan permukaan spesimen dari pengotor dilakukan dengan *mechanical treatment* dengan cara *grinding* hingga permukaan bersih dan cukup rata.
3. Spesimen ditimbang beratnya menggunakan neraca analitik.

3.3.2 Pembuatan Material 55%Al-Zn-1,5%Si

Proses pembuatan material 55%Al-Zn-1,5%Si yaitu dengan menimbang ingot zink, ingot alumunium dan ingot paduan Al-10,5% Si dengan menggunakan timbangan analitik dengan berat yang diinginkan yaitu gram dengan komposisi ingot zink sebesar 130,5 gram, ingot alumunium sebesar 126,7 gram dan ingot paduan Al-10,5% Si sebesar 42,9 gram. Proses penimbangan komposisi dari serbuk ingot zink dan ingot alumunium harus dilakukan dengan sangat teliti agar material yang terbentuk sesuai dengan apa yang diinginkan. Selanjutnya gram Al55%-Zn dimasukkan ke dalam furnace untuk dilelehkan pada temperature 800°C, selama proses pelelehan material harus selalu dikontrol untuk memastikan bahwa material Al55%-Zn sudah melebur dengan homogen.

3.3.3 Proses Pencelupan (*Immersing*)

Proses pencelupan (*immersing*) dilakukan pada spesimen baja API 5L *Grade B* yang sudah dibersihkan pada tahap preparasi spesimen uji yang dicelupkan ke dalam material Al55%-Zn cair pada temperature 600°C dengan variasi waktu celup yang berbeda-beda, yaitu 60 detik, 300 detik, 540 detik, dan 780 detik. Pada proses pencelupan ini temperatur material Al55%-Zn 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 spesimen didinginkan dengan pendinginan udara.

3.3.4 Pengamatan Menggunakan OES

Pengujian menggunakan OES (Optical Electron Spectroscopy) untuk mengetahui komposisi dari paduan *coating* Al55%-Zn-Si, pengujian dilakukan dengan alat uji OES dengan merek dagang *Foundy-Master Pro Oxford Instrument* milik laboratorium uji bahan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS), alat uji tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat Uji OES *Foundy-Master Pro Oxford Instrument*



3.3.5 Pengamatan Menggunakan SEM

Pengujian menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope) untuk mengetahui apakah lapisan hasil hot dip Al55%-Zn terdeposit serta untuk karakterisasi morfologi lapisan coating, pengujian dilakukan dengan alat uji SEM dengan merk dagang FEI Inspect S50, alat uji tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat Uji Deposit Lapisan Spesimen SEM dengan merk dagang FEI Inspect S50

Pengujian SEM lapisan pada spesimen hot dip ini bertujuan untuk mengetahui bahwa spesimen yang telah dihotdip benar-benar memiliki deposit lapisan galvalum dan mengetahui morfologi permukaannya. Uji ini dilakukan dengan pemotongan pada spesimen agar dimensi spesimen seperti standar uji, kemudian spesimen harus dibersihkan dari pengotor-pengotor yang masih menempel pada permukaannya agar didapatkan hasil uji yang optimal.

3.3.6 Pengamatan Menggunakan XRD

Pengamatan dengan menggunakan alat X-ray Diffraction (XRD) bertujuan untuk mengkarakterisasi senyawa intermetallic yang terbentuk dipermukaan baja akibat proses pelapisan. Selain



BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

itu pengujian XRD ini juga ditujukan untuk spesimen hasil uji ketahanan korosi, pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui senyawa produk korosi yang terbentuk akibat proses korosi.



Gambar 3.4 Alat X-Ray Diffraction untuk karakterisasi permukaan lapisan

3.3.7 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 MiniTest 600 yang ditunjukkan oleh Gambar 3.5



Gambar 3.5 Alat Uji Ketebalan Mini Test 600



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 dari tiap spesimen.

3.3.8 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 3.5.



Gambar 3.6 Alat Uji Kelekatan PosiTest AT-M Adhesion Tester

Spesimen perlu dipersiapkan terlebih dahulu sesuai standar spesimen uji pull-off. Spesimen ditempelkan kepada alat penarik yang berbentuk seperti pion catur yang bernama 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 hot dip dapat dibaca pada alat pengukur tekanan.

3.3.9 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi bisa dilakukan dengan menggunakan pengujian *salt spray* dengan metode *weight loss*. *Salt Spray Chamber* yang digunakan merupakan milik Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Metode ini untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja yang telah dilapisi dengan galvalum pada media lingkungan NaCl 3,5%. Material coating yang digunakan pada pengujian laju korosi ini adalah baja API 5L Grade B yang telah dilapisi dengan logam paduan Al55%-Zn. Lama dari pengujian yang dilakukan selama 96 jam dengan menggunakan larutan NaCl 3,5% sebagai larutan garam yang nantinya akan disemprotkan membentuk embun oleh *nozzle* didalam *salt spray chamber* yang kemudian akan menempel di spesimen dengan temperatur dijaga 35°C . Sebelum dilakukan pengujian seluruh dari sampel dilakukan pengukuran berat untuk mengetahui berat awal, lalu dilakukan pengukuran berat setelah 96 jam pengujian. Setelah itu, didapatkan perubahan berat per satuan waktu dan dilakukan perhitungan laju korosi yang terjadi. Standard pengujian yang digunakan adalah ASTM B-117.



Gambar 3.7 Alat Uji Korosi *Salt Spray Chamber*

3.4 Rencana Penelitian

Tabel 3.1 Rencana Penelitian

Waktu Celup	Uji XRD	Uji SEM	Uji Ketebalan	Uji Kelekatan	Uji Korosi
1 menit	-	V	v	v	v
	-	-	v	v	v
	-	-	v	v	v
5 menit	-	V	v	v	v
	-	-	v	v	v
	-	-	v	v	v
9 menit	-	V	v	v	v
	-	-	v	v	v
	-	-	v	V	v
13 menit	v	V	v	V	v
	v	-	v	v	v
	-	-	v	v	v
Total Spesimen					42



3.5 Timeline Penelitian

Tabel 3.2 Timeline Penelitian

Bulan	Maret			April			Mei		
Pekan ke-									
Pengadaan bahan penelitian dan survei alat penelitian	■	■							
Preparasi specimen dan bahan penelitian		■	■						
Percobaan hot-dip (immersing)			■	■					
Pengujian Visual, Thickness dan Adhesive				■	■				
Evaluasi hasil pengujian					■	■			
Pengujian ketahanan korosi							■	■	■
Pengujian SEM							■	■	■
Pengujian XRD							■	■	■
Analisa Data Hasil Pengujian dan Kesimpulan									■



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Visual dan Mikro

4.1.1 Pengamatan Visual (Makro)

Pengamatan visual atau pengamatan makroskopik adalah pengamatan terhadap spesimen dari tampak visual secara mata telanjang, yang pada penelitian kali ini dilakukan untuk menunjukkan perbandingan sampel pada saat sebelum *dicoating* dan pada saat setelah *dicoating* dengan metode *hot dip galvalum*.

Sampel yang digunakan adalah Baja API 5L Grade B Sch 40 dengan ukuran 5 cm x 4 cm x 0,3 cm. Sebelum sampel *dicoating*, baja tersebut dibersihkan dahulu permukaannya dari pengotor seperti *scale*, karat dan pengotor –pengotor lainnya dengan menggunakan metode mekanik (*grinding*). Hal ini dilakukan agar lapisan *coating* dapat melekat dengan baik pada substrat. Hasil pengamatan visual dapat dilihat pada gambar 4.1.



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

Dari gambar 4.1 jelas terlihat perbedaan fisik antara spesimen yang belum mengalamami proses *coating hot dip*



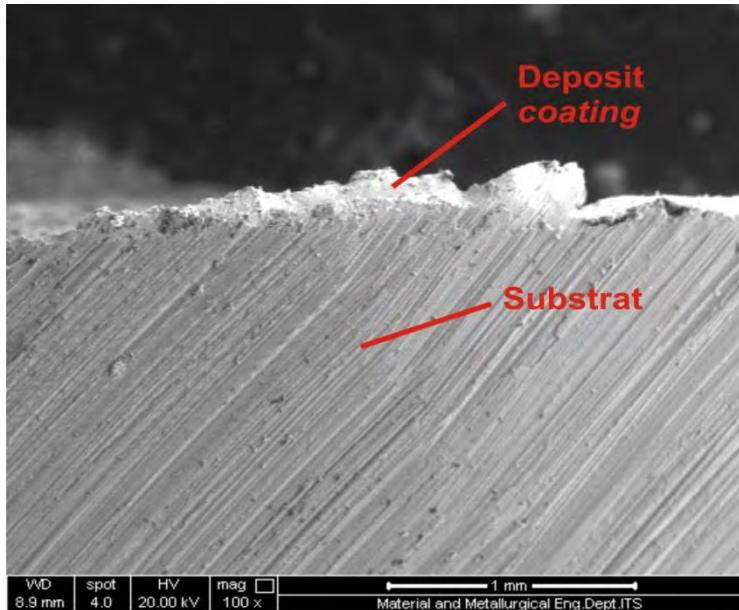
galvalum dengan yang telah *dicoating*. Pada spesimen uji yang belum *dicoating*, spesimen masih berwarna abu-abu atau silver khas logam namun berwarna cenderung cerah berkilau seperti spesimen yang telah dipreparasi secara mekanik pada umumnya.

Berbeda dengan spesimen yang telah *dicoating* yang permukaannya berwarna abu-abu cerah yang agak pekat. Warna *coating* ini merupakan hasil dari warna fisik elemen penyusun lapisan tersebut (Al55%-Zn). Warna abu-abu tersebut merupakan warna fisik dari Zn sebagai paduan namun adanya Al yang cukup tinggi membuat permukaan menjadi lebih cerah.

4.1.2 Pengamatan Mikro

Pengamatan mikro pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah lapisan *coating* yang terbentuk telah terdeposit dengan baik pada substrat atau belum. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat *Scanning Electrone Microscopy* (SEM) dan mikroskop optik.

Untuk mengetahui, apakah terdeposit atau tidak maka pengamatan dilakukan pada bagian *cross-section* yang menghadirkan kondisi *interface* antara *coating* dan substrat. Untuk pengamatan kali ini, spesimen hasil *hot dip* dipotong dengan ukuran sebesar 1cm x 1cm dengan ukuran ketebalan tetap 0,3 cm. Setelah itu *cross section* ini diamati dengan perbesaran 100x yang dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Tampak *Cross Section interface* dari lapisan *coating galvalum*

Dari gambar 4.2 tersebut terlihat bahwa lapisan telah terdeposisi substrat. Bagian *coating* pada gambar tersebut terlihat pada bagian berwarna cerah dan baja pada permukaan yang berwarna gelap. Dikatakan terdeposisi karena pada *interface* antara *coating* dan substrat tidak terdapat rongga apapun sehingga menunjukkan telah *coating* dengan baik. Hasil *coating* tersebut dapat melekat akibat adanya pembentukan senyawa intermetallik antara galvalum dan baja.

Pembentukan senyawa ini hanya dapat terjadi selama substrat tercelup dalam *molten metal* galvalum. Hal ini karena pada saat tersebut masih terjadi difusi yang memungkinkan terbentuknya ikatan senyawa akibat saling

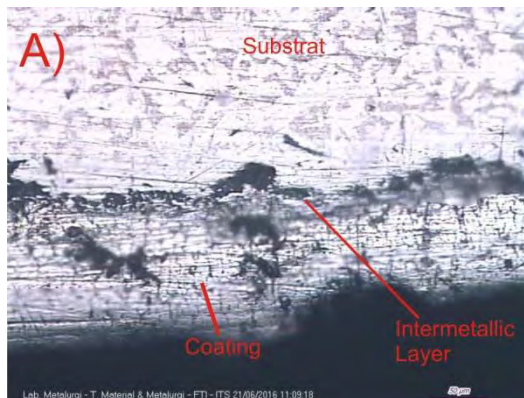


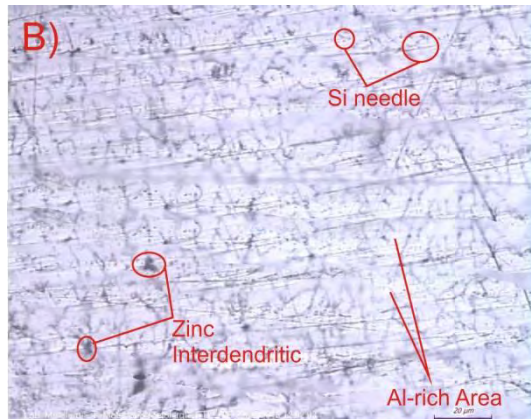
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

berpindahannya atom-atom baik dari deposit ke substrat, maupun sebaliknya (Schweitzer, 2006). Menurut Xu (2005) Waktu celup yang cukup akan memberi waktu yang cukup untuk terjadinya *Nucleation* (pengintian) dan *Growth* yang membuat lapisan makin tebal disamping temperatur *molten bath* yang juga berdampak pada kinetika reaksi secara termodinamika.

Pengintian sendiri yang dimaksud disini adalah pembentukan inti-inti atom lapisan intermetalik akibat difusi dari *coating* ke substrat dan sebaliknya saat dicelup yang kemudian nantinya akan mengalami pertumbuhan apabila ada kesempatan untuk bereaksi dengan faktor-faktor yang telah dipecahkan sebelumnya. Apabila waktu celup terlalu cepat maka belum sempat terbentuk lapisan intermetalik tersebut (Chen, 1992).

Adapun untuk analisis pengamatan mikro dengan mikroskop optik dilakukan untuk mengetahui morfologi pada *interface coating-substrat*. *Etching* spesimen menggunakan larutan etsa nital dengan komposisi 5% HNO_3 dan 95% methanol mengacu pada ASTM E407. Dari sana didapatkan struktur mikro yang dapat dilihat pada gambar 4.3.





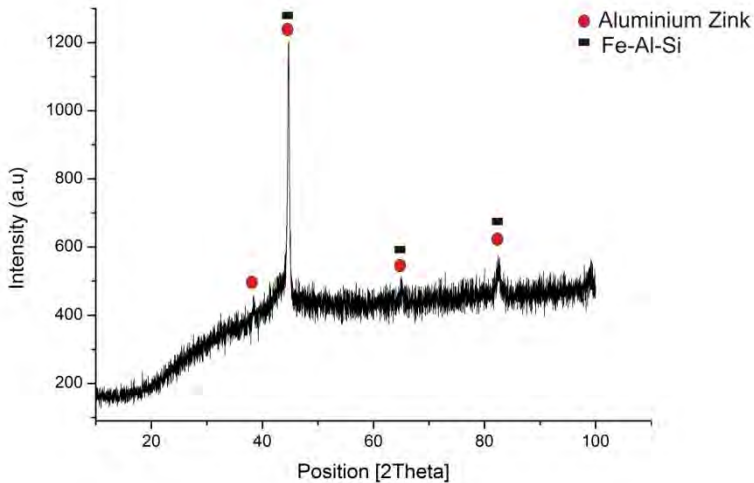
Gambar 4.3 a) Tampak lapisan *interface coating*-substrat, b) Mikrostruktur Lapisan Galvalum

Dari hasil metalografi tersebut terlihat morfologi mikrostruktur pada *coating* galvalum. Seperti yang terlihat pada gambar 4.3a) terlihat lapisan intermetallik yang berupa garis hitam pembatas antara substrat dengan lapisan *coating*. Senyawa intermetallik ini merupakan senyawa $FeAl_3$ atau Fe_2Al_5 yang pertumbuhannya dihambat oleh unsur Si pada paduan galvalum sejalan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Schweitzer (2006). Sementara pada gambar 4.3 b) pada perbesaran 50x terlihat strukturmikro galvalum dengan cukup jelas. Terdapat 3 daerah yang dapat diidentifikasi, daerah putih, hitam dan garis serpihan hitam tipis-tipis. Merujuk pada ASM (), seperti pada panah yang ditunjukkan daerah yang berwarna putih merupakan daerah kaya Aluminium, untuk Zinc pada daerah interdendritik hitam yang agak tebal, sementara untuk Si ditunjukkan oleh serpihan-serpihan berwarna hitam tipis yang tersebar. Untuk membuktikan bahwa memang



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

terbentuk senyawa intermetalik, pada penelitian ini dilakukan uji XRD pada sampel *coating* yang tidak diberi perlakuan apapun yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Uji XRD pada Sampel *Coating* Galvalum

Tabel 4.1 Senyawa dari Hasil Uji XRD Galvalum

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-045-1206	50	Aluminum Iron Silicon	-0.341	0.833	Al _{0.3} Fe ₃ Si _{0.7}
*	00-052-0856	31	Aluminum Zinc	-0.327	0.467	Al _{0.403} Zn _{0.597}

Pada Tabel 4.1 terlihat adanya senyawa Al-Fe-Si dan Al-Zn. Keberadaan senyawa Al-Fe-Si merupakan sebagai senyawa intermetalik dan Al-Zn merupakan paduan dari *coating*. Penjelasan mengenai Al-Fe-Si adalah senyawa intermetalik ini berdasarkan pada penelitian yang dilakukan



oleh Xu (2005) yang menyatakan bahwa senyawa intermetallik yang terbentuk pada *coating* galvalum tidak dapat diprediksi dengan baik ditiap prosesnya, namun yang pasti adalah terbentuknya senyawa Fe-Al –Si sebagai intermetallik dan kawasan kaya Zn pada paduan dengan Al (Xu,2005).

4.2 Uji OES

Sebelum dilakukan proses *hot dip*, telah dilakukan pengujian OES (*Optical Emission Spectrometry*) pada paduan galvalum sebagai material pelapis, hal ini dilakukan untuk memastikan komposisi galvalum telah sesuai perhitungan teoritis sehingga sesuai standard. Hasil pengujian OES ini dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji OES

Unsur	Al	Si	Zn	Dll
%	55.5	1.38	42.72	0.4

Dengan komposisi seperti ini maka paduan galvalum yang digunakan telah sesuai dengan standar komposisi galvalum yang dapat dilihat pada tabel 4.3. Hal ini karena elemen penyusun yang diharapkan (Al-Zn-Si) berada pada range komposisi unsur standard yang ada.

Tabel 4.3 Komposisi Standar Galvalum (Borzillo,1968)

Unsur	Al	Si	Zn	Dll
%	54-59	0.9-2.3	41-44	Bal

Setelah paduan dipastikan benar, barulah penelitian dilakukan sesuai prosedur dan dilakukan beberapa pengujian sebagai berikut untuk dianalisa.



4.3 Uji Ketebalan

Pengujian ketebalan coating ini dilakukan untuk mengetahui perubahan ketebalan coating yang terjadi akibat variasi waktu celup. Pengujian ini dilakukan alat DFT (Dry Film Thickness). Adapun hasil uji ketebalan lapisan dapat dilihat pada tabel 4.4.

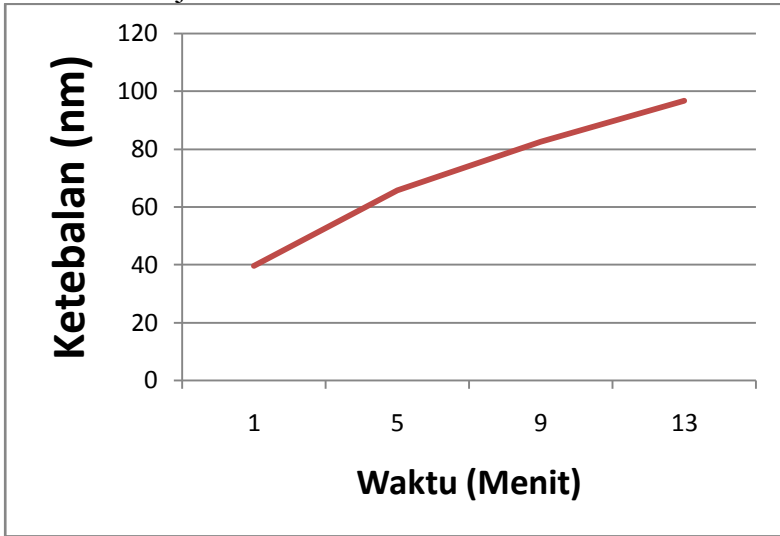
Tabel 4.4 Hasil Uji Ketebalan Coating

Variabel (Menit)	Ketebalan (μm)	Rata-Rata
1	37,6	39.47
	38.6	
	42.2	
5	68	65.5
	65.5	
	63	
9	82.5	82,4
	83.3	
	81.4	
13	96.8	96.6
	94.8	
	98.6	

Dari Tabel 4.4 terlihat bahwa waktu celup berbanding lurus dengan ketebalan *coating* yang semakin tebal. Hal ini disebabkan oleh paduan coating memiliki waktu yang cukup untuk membentuk lapisan deposit. Semakin lama waktu celup membuat paduan *coating* dapat berdifusi pada logam lebih lama sehingga dapat terdeposisi makin sempurna di permukaan substrat yang terjadi akibat semakin meluasnya kawasan interdendritik kaya Zn, memberi kemampuan Al untuk berkembang hingga ukuran dendrit Al semakin besar dan makin banyak Si yang masuk di kawasan lapisan



tersebut (Selverian, 1987). Grafik ketebalan terhadap variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Variabel vs Ketebalan

4.4 Uji Kelekatan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu celup terhadap kemampuan *coating* untuk melekat pada substrat serta jenis kekekatannya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Pull-off* dan mengacu pada ASTM D-4541. Hasil uji kelekatan ini dapat dilihat pada tabel 4.5.



Tabel 4.5 Hasil Uji Kelekatan Coating

Variabel (Detik)	Kelekatan (MPa)	Rata-Rata
1	3.6	3.097
	3.12	
	2.57	
5	12.07	13.83
	15.05	
	14.37	
9	22.97	19.2
	15.84	
	18.79	
13	-	-
	-	
	-	

Apabila dilihat pada Tabel 4.5, waktu celup masih berbanding lurus dengan kekuatan lekat *coating* yang semakin tinggi. Hal ini terjadi karena galvalum mendapat waktu yang cukup untuk berdifusi pada baja. Pada *coating hot dip*, ikatan yang terjadi antara deposit dengan substrat adalah ikatan metalurgi. Adapun ikatan metalurgi yang terjadi hingga nantinya membentuk senyawa intermetalik telah dijelaskan mekanismenya pada subbab sebelumnya. Selain itu, untuk kelekatan juga dipengaruhi kecepatan pengintian yang memerlukan waktu yang untuk paduan *coating* Al-Zn memerlukan setidaknya 48 detik untuk membentuk $FeAl_3$ yang merupakan senyawa pertama yang terbentuk saat pengintian (Chen, 1992).



Gambar 4.6 Sampel setelah Uji Adhesive

Pada sampel dengan variabel 1 menit untuk mendapatkan sampel yang dapat diuji kelekatan sangat sulit karena kemungkinannya cukup kecil untuk spesimen dapat terlapisi secara menyeluruh dan sempurna. Hal ini terjadi karena umumnya sampel yang dibuat gagal akibat lapisan mudah terkelupas atau bahkan lepas saat akan diuji, sehingga bisa dikatakan bukan waktu yang efektif untuk mendapatkan lapisan *coating* yang bagus, untuk spesimen 5 menit sedikit lebih baik dari segi kelekatan dan kemampuan mengcover area substrat, namun terkadang masih bisa mengalami kegagalan melapisi substrat namun sangat jarang.

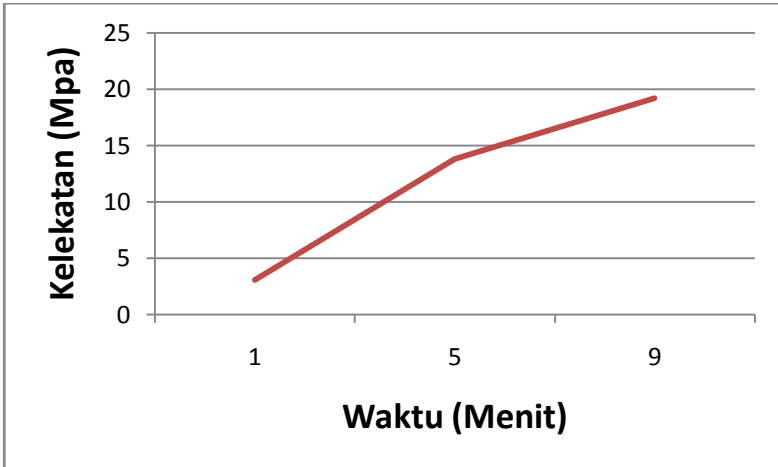
Lalu, untuk sampel dengan variabel waktu celup 9 menit sudah bisa dikatakan kondisinya cukup bagus dan mumpuni, permukaan substrat dapat dipastikan tercover dan apabila terjadi kegagalan lekat pada sampel variabel waktu



ini kemungkinan hanya dari kesalahan dalam proses yaitu preparasi yang kurang baik.

Untuk sampel dengan variabel waktu celup 13 menit secara visual bisa dikatakan tidak terlalu jauh berbeda dengan sampel variabel 9 menit. Selain itu, untuk informasi bahwa pada uji ini, *coating* terlepas dalam keadaan *cohesive failure* karena *failure* terjadi pada ikatan didalam *coating* tidak di *interface coating*-substrat (Gambar 4.6). Adapun tipe kegagalan yang berbeda hanya pada variabel 13 menit dimana yang terjadi adalah *glue failure* yaitu kegagalan terjadi pada lem yang tak sanggup menarik lapisan galvalum dari lapisan substrat, Hal ini bisa terjadi karena dua hal, pertama akibat keurang sempurnanya pemasangan lem dalam uji ini akibat ada rongga udara yang ada di area pengeleman sehingga lem saat dicabut yang tercabut hanya lemnya, akan tetapi ada kemungkinan kedua yaitu kekuatan adhesif lapisan *coating* galvalum sendiri yang sangat kuat sehingga tidak dapat ditarik. Apabila disesuaikan dengan teori tadi, kemungkinan kedua bisa terjadi karena pada saat *dolly* terlepas ada bagian lem yang terlepas namun juga tidak dapat membuat lapisan *coating* terlepas.

Adapun, untuk Grafik kelekatan terhadap variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Variabel vs Kelekatatan

4.5 Uji Korosi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku/laju korosi pada lapisan yang dipengaruhi pada tiap variabel spesimen. Pengujian dilakukan dengan metode *salt spray* yang mengacu pada ASTM B117. Spesimen dikorosikan didalam *chamber* yang disana terdapat *nozzle* yang memancarkan larutan garam berupa NaCl 3,5% selama 96 jam. Perhitungan dilakukan berdasarkan perubahan massa yang terjadi (metode *weigh loss*) yang nantinya dimasukkan ke dalam rumus:

$$mpy = \frac{534W}{DAT} \dots\dots\dots (4.1)$$

- Dimana, W = weight loss, mg
- D = density of specimen, g/cm³
- A = area of specimen, sq. in.
- T = exposure time, hr



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Untuk hasil dari pengujian korosi ini dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Korosi

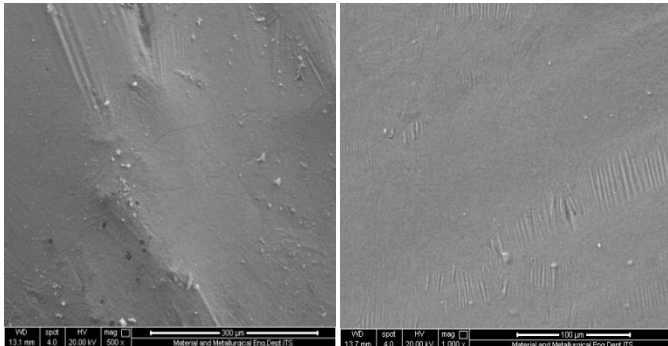
Variabel (Menit)	Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)	Δm	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata
1	69,3754	6 6,8357	2 ,5397	0,9812	0,9873
	62,4364	5 9,7669	2 ,6694	1,0313	
	71,2473	6 8,7899	2 ,4574	0,9494	
5	61,4770	6 1,2143	0 ,2627	0,1015	0,1024
	64,1716	6 3,9107	0 ,2609	0,1008	
	56,3517	5 6,0802	0 ,2715	0,1049	
9	63,9218	6 3,6782	0 ,2436	0,0941	0,0958
	63,7358	6 3,4868	0 ,2490	0,0962	
	65,9162	6 5,6649	0 ,2513	0,0971	
13	58,1617	5 7,9471	0 ,2146	0,0829	0,0833
	59,4428	5 9,2305	0 ,2123	0,0820	
	60,0454	5 9,8254	0 ,2200	0,0850	

Sebelum dilakukan pengujian ini telah dilakukan pengamatan dengan SEM (*Scanning Electrone Microscopy*).



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

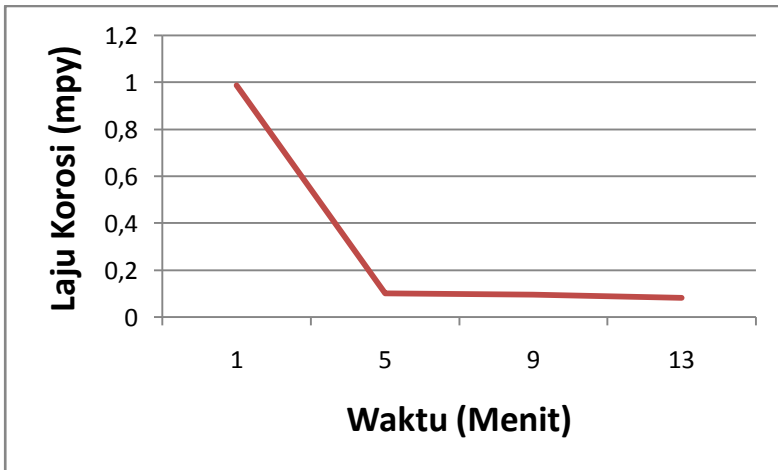
Hal ini menunjang untuk memastikan hingga struktur mikro memastikan bahwa sampel yang akan diuji tidak ada cacat berupa *porous* pada lapisan *coating*-nya, baik dari topografi atau permukaan hingga tampak-lintang (*cross section*), karena apabila terjadi cacat tersebut maka hasil uji korosi tidak akurat 100%. Hal ini bisa terjadi karena apabila ada *porous* maka larutan garam yang digunakan untuk mengkorosikan sampel bisa langsung berinteraksi dengan baja dan hal ini tidak diharapkan karena yang ingin diketahui dari uji ini adalah perilaku korosi dari lapisan tidak termasuk baja.



Gambar 4.8 Hasil uji SEM perbesaran 500x topografi galvalum (kiri), 1000x (kanan)

Pengamatan dilakukan dengan perbesaran hingga 500x dan 1000x yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.8. Karena untuk *cross section* telah ditampilkan sebelumnya maka disini akan ditampilkan yang topografi saja.

Dari keseluruhan gambar SEM pada gambar 4.8 terlihat bahwa permukaan dalam keadaan bagus karena tak ada lubang atau *porous defect* yang akan membuat pengujian tak berjalan optimal.



Gambar 4.9 Grafik Variabel Waktu vs Laju Korosi

Lalu, kembali ke hasil uji korosi, apabila kita melihat pada gambar 4.9 secara grafis terlihat adanya perbedaan yang sangat signifikan antara spesimen 1 menit dengan 5 menit sekaligus menempatkan spesimen 1 menit sebagai sampel yang memiliki laju korosi paling tinggi pada penelitian kali ini dengan nilai laju korosi sebesar 0,9873 mpy, hal ini disebabkan pertama oleh lapisan *coating* yang tipis apabila memiliki hasil uji ketebalan rata-ratanya (Tabel 4.1), penyebab lainnya yang berperan vital adalah kurang sempurnanya hasil *coating*, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa hasil *coating* galvalum dengan variabel satu menit kurang optimal karena tetap ada area yang belum ter-*coating*. Begitu juga pada spesimen pengujian ini, sekalipun terkesan spesimen telah ter-*coating* secara total namun ada beberapa bagian yang retak dan sangat mudah lepas yang kemudian ada beberapa bagian yang terlepas selama pengujian sehingga deposit *coating* berkurang.



Kombinasi antara *coating* yang sedikit dan lapisan yang kurang tebal inilah yang membuat laju korosinya tinggi dibandingkan pada variabel lain.

Untuk variabel 5 menit, seperti yang dijelaskan sebelumnya terjadi penurunan laju korosi yang signifikan hingga 0,1024 mpy. Hal ini terjadi karena pada spesimen 5 menit hasil *coating* telah menutup spesimen secara sempurna dan telah memiliki ketebalan yang cukup.

Untuk spesimen variabel 9 menit, masih ada penurunan laju korosi menjadi 0,0958 mpy dari variabel 5 menit, namun penurunannya sudah tidak signifikan. Hal ini disebabkan perbedaan antara kedua variabel tersebut hanya pada ketebalan *coating* 9 menit yang lebih tebal. Begitu juga untuk variabel 13 menit, dengan laju korosi 0,0833 mpy, secara grafis sudah tak ada lagi penurunan laju korosi dibandingkan dengan variabel 5 dan 9 menit. Untuk penyebabnya masih karena perbedaan *coating* hanyalah pada ketebalannya saja sehingga laju korosi antara 5, 9, dan 13 menit sudah cenderung stagnan.

Kinerja proteksi korosi sendiri pada galvalum seperti yang telah dibahas di bab sebelumnya tergantung pada keberadaan lapisan yang kaya akan Aluminium dan Zinc. Maka apabila lapisan makin tebal maka jumlah Aluminium dan Zinc makin banyak yang melapisi substrat (Selverian, 1987).

Adapun setelah dilakukan uji korosi ini, secara visual tampak perbedaan yang cukup terlihat seperti yang ditampilkan pada gambar 4.10.

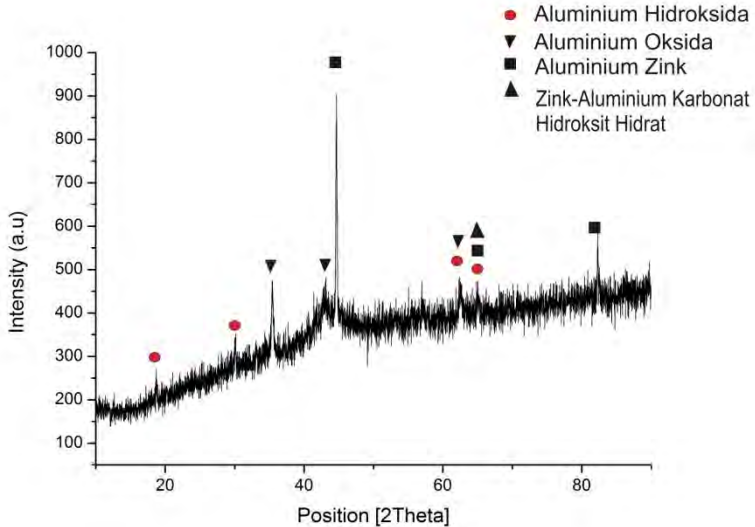


Gambar 4.10 Kondisi Visual Spesimen setelah Uji Korosi

Seperti yang terlihat pada gambar 4.10 terlihat adanya bercak-bercak putih serta warna yang agak gelap dari spesimen ini sendiri yang berbeda dengan kondisi awal seperti pada gambar 4.1 b). Hal ini dikarenakan munculnya produk korosi akibat proses korosi selama uji didalam *salt spray chamber*. Hasil Korosi diketahui melalui grafik hasil uji XRD pada permukaan sampel setelah korosi yang terdapat pada gambar 4.11.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.11 Grafik Hasil Uji XRD pada Spesimen setelah Uji Korosi

Tabel 4.7 Senyawa Hasil Uji XRD setelah Uji Korosi

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-048-1022	5	Zinc Aluminum Carbonate Hydroxide Hydrate	0.753	0.689	Zn0.70 Al0.30 (OH)2 (CO3)0.15 · xH2O
*	00-018-0031	2	Aluminum Hydroxide	-0.311	2.879	Al(OH)3
*	00-029-0063	7	Aluminum Oxide	-1.279	0.064	Al2O3
*	01-074-5292	9	Aluminum Zinc	-0.247	1.644	Al0.86 Zn0.14
*	00-029-1486	6	Aluminum Oxide	-1.269	0.082	Al2O3
*	00-001-1305	2	Aluminum Oxide	0.148	0.090	Al2O3

Pada tabel 4.7 terlihat senyawa-senyawa yang muncul pada permukaan sampel setelah uji korosi. Produk

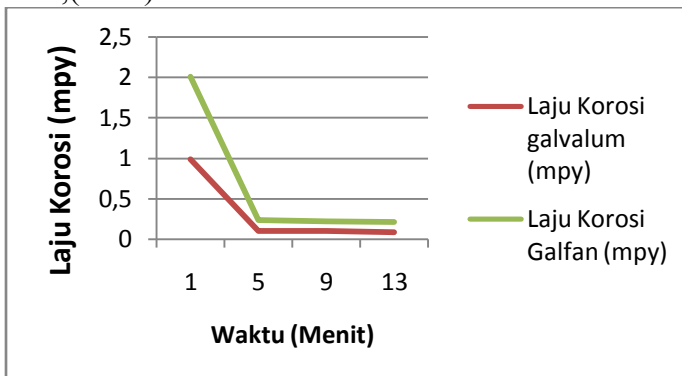


BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Korosi yang muncul berupa senyawa kompleks *Zinc Aluminium Carbonate Hidroxite Hydrate* $[0,7Zn\ 0,3Al(OH)_2\ 0,15(CO_3)xH_2O]$, serta Aluminium Hidroksida $[Al(OH)_3]$. Aluminium Oksida yang muncul di hasil XRD ini merupakan lapisan pasif yang dibentuk oleh Aluminium akibat interaksi dengan lingkungan dan bukan merupakan produk korosi. Sementara senyawa AlZn yang muncul adalah senyawa paduan dari galvalum itu sendiri (produk asli *coating*).

Secara keseluruhan, produk hasil uji korosi ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa produk korosi utama dari galvalum pada uji korosi *salt spray* ini adalah senyawa kompleks Aluminium Seng Karbonat Hidroksit Hidrat lalu Aluminium Hidroksida (Sere, 1998).

Performa dari *coating* ini telah sesuai mengacu pada literatur di bab sebelumnya mengenai perbandingan laju korosi antara galvalum dan galfan, untuk pembandingan galfan dapat dilihat pada gambar 4.12 dari laju korosi galfan oleh Ibrahim,(2016).



Gambar 4.12 Perbandingan Laju korosi pada galvalum dan galfan pada penelitian Ibrahim, 2016

LAMPIRAN

XRD Korosi

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.

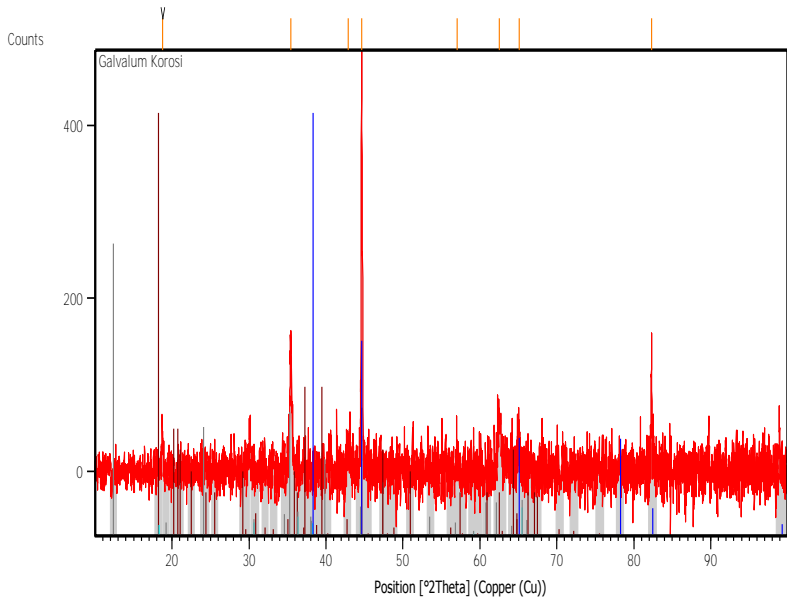
Modify it according to your own needs and standards.

1.1 Measurement Conditions: *(Bookmark 1)*

Dataset Name	Galvalum Korosi
File name	E:\DATA
PENGUJIAN\Pengujian Korosi\Galvalum Korosi.xrdml	2016\Juni\Syarif\Galvalum
Comment	Configuration=Reflection- Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation date=1/15/2016 11:44:36 AM
(Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum step size Omega:0.001	Goniometer=PW3050/60
Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size Phi:0.1	Sample stage=Reflection-
	Diffractometer
system=XPERT-PRO	Measurement
program=C:\PANalytical\Data Collector\Programs\test.xrdmp,	Identifier={7478549D-EF86- 4D63-9E63-F4AC35204395}
Measurement Date / Time	6/24/2016 8:02:29 AM
Operator	Institut Teknologi
Raw Data Origin (* .XRDML)	XRD measurement
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10.0084
End Position [$^{\circ}$ 2Th.]	99.9894

Step Size [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1600
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [$^{\circ}$ 2Th.]	2.12
Offset [$^{\circ}$ 2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2177
Specimen Length [mm]	10.00
Measurement Temperature [$^{\circ}$ C]	25.00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffraction Type	0000000011119014
Diffraction Number	0
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	100.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

1.2 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



1.3 Peak List: (Bookmark 3)

1.4 Pattern List: (Bookmark 4)

Pos. [$^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM [$^{\circ}$ 2Th.]	Left	d-spacing [\AA]	Rel.Int. [%]
18.7485	37.73		0.2007	4.73308	8.23
35.4145	141.29		0.2007	2.53469	30.83
42.8918	46.55		0.6691	2.10856	10.16
44.6203	458.31		0.1004	2.03081	100.00
57.0443	27.57		0.8029	1.61453	6.02
62.5455	56.10		0.4015	1.48510	12.24
65.1432	29.50		0.3346	1.43203	6.44
82.3278	116.20		0.1224	1.17028	25.35

Visible	ef. Code	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	0-048-1022	Zinc Aluminum Carbonate Hydroxide Hydrate	0.753	0.689	Zn _{0.70} Al _{0.30} (OH) ₂ (CO ₃) _{0.15} ·xH ₂ O
*	00-018-0031	Aluminum Hydroxide	0.311	2.879	Al(OH) ₃
*	00-029-0063	Aluminum Oxide	1.279	0.064	Al ₂ O ₃
*	01-074-5292	Aluminum Zinc	0.247	1.644	Al _{0.86} Zn _{0.14}
*	00-029-1486	Aluminum Oxide	1.269	0.082	Al ₂ O ₃
*	00-001-1305	Aluminum Oxide	0.148	0.090	Al ₂ O ₃

1.5 Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = "Galvalum Korosi.xrdml"

- Modification time = "6/24/2016 2:12:08 PM"
- 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 = "6/24/2016 2:12:08 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/24/2016 2:12:08 PM"
- 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"

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 = "Yes"
- 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 = "6/24/2016 2:13:36 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Delete Peak(s):

- Start position = "30.1318"
- End position = "30.1318"
- Modification time = "6/24/2016 2:26:25 PM"
- 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.

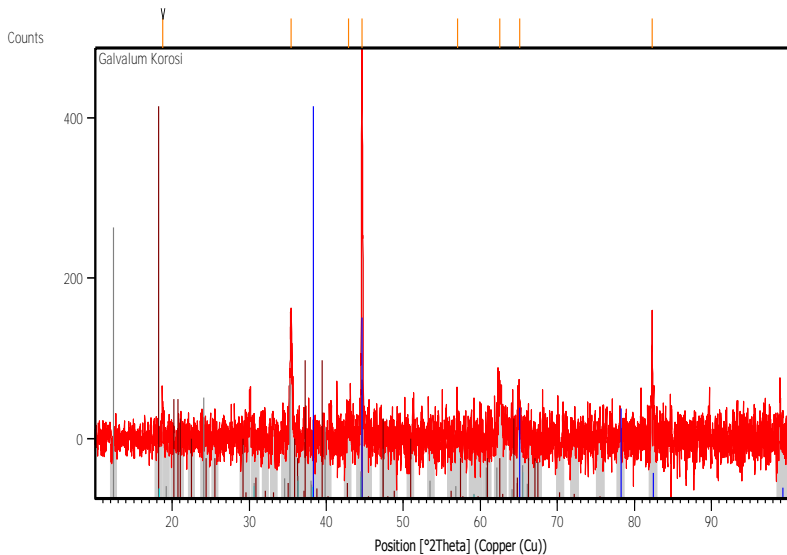
Modify it according to your own needs and standards.

1.6 Measurement Conditions: *(Bookmark 1)*

Dataset Name	Galvalum Korosi
File name	E:\DATA
PENGUJIAN\Pengujian	2016\Juni\Syarif\Galvalum
Korosi\Galvalum Korosi.xrdml	
Comment	Configuration=Reflection-
Transmission Spinner,	Owner=User-1, Creation
date=1/15/2016 11:44:36 AM	
	Goniometer=PW3050/60
(Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum	
step size Omega:0.001	
	Sample stage=Reflection-
Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size	
Phi:0.1	
	Diffractometer
system=XPERT-PRO	
	Measurement
program=C:\PANalytical\Data	
Collector\Programs\test.xrdmp,	Identifier={7478549D-EF86-
4D63-9E63-F4AC35204395}	
Measurement Date / Time	6/24/2016 8:02:29 AM
Operator	Institut Teknologi
Raw Data Origin	XRD measurement
(* .XRDML)	
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ 2Th.]	10.0084

End Position [$^{\circ}2\theta$.]	99.9894
Step Size [$^{\circ}2\theta$.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1600
Scan Type	Continuous
PSD Mode	Scanning
PSD Length [$^{\circ}2\theta$.]	2.12
Offset [$^{\circ}2\theta$.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2177
Specimen Length [mm]	10.00
Measurement Temperature [$^{\circ}C$]	25.00
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [\AA]	1.54060
K-Alpha2 [\AA]	1.54443
K-Beta [\AA]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractionmeter Type	0000000011119014
Diffractionmeter Number	0
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	100.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

1.7 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



1.8 Peak List: (Bookmark 3)

Pos. s. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM M Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
18.	37	0.2007	4.73308	8.23
7485	.73			
35.	14	0.2007	2.53469	30.83
4145	1.29			

42.	46	0.6691	2.10856	10.16
8918	.55			
44.	45	0.1004	2.03081	100.00
6203	8.31			
57.	27	0.8029	1.61453	6.02
0443	.57			
62.	56	0.4015	1.4	12
5455	.10		8510	.24
65.	29	0.3346	1.4	6.
1432	.50		3203	44
82.	11	0.1224	1.1	25
3278	6.20		7028	.35

1.9 Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	ef. Code	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-048	Zinc	0.753	0	Zn0.70
	-	Aluminum		.689	Al0.30
	102	Carbonate			(O H)
	2	Hydroxide)2
		Hydrate			(CO3)
					0.15x
					H2 O
*	0-018	Aluminum	-0.311	2	Al
	-	Hydroxide		.879	(OH)3
	003				
	1				
*	0-029	Aluminum	-1.279	0	Al2
	-	Oxide		.064	O3

	006				
	3				
*	1-074	Aluminum Zinc	-0.247	1 .644	Al0.86 Zn0.14
	-				
	529				
	2				
*	0-029	Aluminum Oxide	-1.269	0.082	Al2 O3
	-				
	148				
	6				
*	0-001	Aluminum Oxide	0.148	0.090	Al2 O3
	-				
	130				
	5				

1.10 Document History: *(Bookmark 5)*

Insert Measurement:

- File name = "Galvalum Korosi.xrdml"
- Modification time = "6/24/2016 2:12:08 PM"
- 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 = "6/24/2016 2:12:08 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/24/2016 2:12:08 PM"
- 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"

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 = "Yes"
- 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 = "6/24/2016 2:13:36 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Delete Peak(s):

- Start position = "30.1318"
- End position = "30.1318"

- Modification time = "6/24/2016 2:26:25 PM"
- 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)

XRD non-korosi

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.

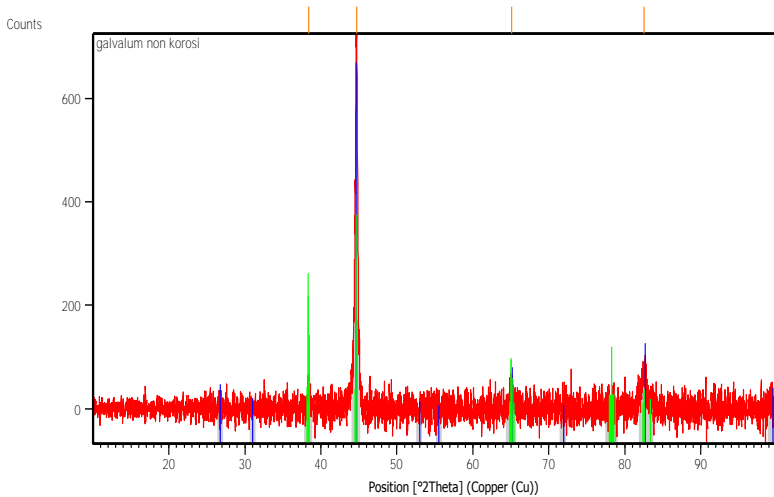
1.11 Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	galvalum non korosi
--------------	---------------------

File name E:\DATA
 PENGUJIAN\Pengujian 2016\Juni\Syarif\galvalum non
 korosi\galvalum non korosi.xrdml
 Comment Configuration=Reflection-
 Transmission Spinner, Owner=User-1, Creation
 date=1/15/2016 11:44:36 AM
 Goniometer=PW3050/60
 (Theta/Theta); Minimum step size 2Theta:0.001; Minimum
 step size Omega:0.001
 Sample stage=Reflection-
 Transmission Spinner PW3064/60; Minimum step size
 Phi:0.1
 Diffractometer
 system=XPERT-PRO
 Measurement
 program=C:\PANalytical\Data
 Collector\Programs\test.xrdmp, Identifier={7478549D-EF86-
 4D63-9E63-F4AC35204395}
 Measurement Date / Time 6/24/2016 7:42:00 AM
 Operator Institut Teknologi
 Raw Data Origin XRD measurement
 (*.XRDML)
 Scan Axis Gonio
 Start Position [$^{\circ}$ 2Th.] 10.0084
 End Position [$^{\circ}$ 2Th.] 99.9894
 Step Size [$^{\circ}$ 2Th.] 0.0170
 Scan Step Time [s] 10.1600
 Scan Type Continuous
 PSD Mode Scanning
 PSD Length [$^{\circ}$ 2Th.] 2.12
 Offset [$^{\circ}$ 2Th.] 0.0000
 Divergence Slit Type Fixed
 Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 0.2177
 Specimen Length [mm] 10.00
 Measurement Temperature [$^{\circ}$ 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

1.12 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)



1.13 Peak List: (Bookmark 3)

Pos.	Height	FWHM	Left	d-spacing	Rel. Int.
------	--------	------	------	-----------	-----------

[°2Th.]	[cts]	[°2Th.]	[Å]	[%]
38.4098	40.01	0.3346	2.34365	5.55
44.6878	721.13	0.1506	2.02790	100.00
65.0829	31.15	0.4015	1.43321	4.32
82.5630	67.07	0.4015	1.16851	9.30

1.14 Pattern List: (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	0	Aluminum	-0.341	0.833	Al _{0.3}
	0-045-1206	Iron Silicon			Fe ₃ Si _{0.7}
*	0	Aluminum	-0.327	0.467	Al _{0.403}
	0-052-0856	Zinc			Zn _{0.597}

1.15 Document History: (Bookmark 5)

Insert Measurement:

- File name = "galvalum non korosi.xrdml"
- Modification time = "6/24/2016 2:33:18 PM"
- 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 = "6/24/2016 2:33:18 PM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Interpolate Step Size:

- Derived = "Yes"
- Step Size = "0.01"
- Modification time = "6/24/2016 2:33:18 PM"
- 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"

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 = "Yes"
- 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 = "6/24/2016 2:34:24 PM"

- 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)



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian *hot dip* galvalum dengan memvariasikan waktu celup telah dilakukan untuk mendapatkan data-data eksperimen. Dihasilkan data ketebalan dan kelekatan *coating* dimana semakin lama waktu celup maka ketebalan dan nilai kelekatan menjadi semakin tinggi. Dari uji Adhesive dihasilkan data berupa kegagalan kohesif pada material pelapis/*coating*. Pada pengujian laju korosi didapatkan semakin lama waktu celup maka semakin kecil laju korosinya yang terjadi. Namun pada waktu celup mulai 5 menit laju korosi yang didapat relatif sama.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya mengenai *hot dip* galvalum dengan variabel yang lain beberapa saran antara lain.

1. Untuk reparasi sebaiknya diperhatikan mengenai kondisi permukaan baja dll.
2. Menggunakan metode tertentu untuk membersihkan atau menyingkirkan oksida pada *molten metal*.
3. Melakukan uji mekanik salah satunya uji *bending* untuk mengetahui dampak *coating* terhadap sifat mekanik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1990. *ASM Metals Handbook Vol 13 10th Edition: Corrosion*
- _____. 1995. *ASM Metals Handbook: Desk Edition*
- _____. 2004. *ASTM International A 36: Standard Specification for Carbon Steel*
- 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.
- Chen, Z.W. 1992. *Intermetallic Phases Formed During Hot Dipping of Low Carbon Steel in a Zn-5%Al Melt at 450°C*. Metallurgical Transaction A.
- Fontana, Mars G. 1987. *Corrosion Engineering 3rd 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
- Hosking, N C. et al. 2007. *Corrosion Resistance of Magnesium Coated Steel*. Journal Corrosion Science.
- Kanani, Naser. 2005. *Basic Principles, Processes and Practice*. Berlin, Jerman : Elsevier Ltd.
- Lam, Dennis. et al. 2004. *Structural Steelwork 3rd Edition*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Li, Yan. 2001. *Corrosion Behaviour of Hot Dip Zn- Al and Zn Coatings On Steel In Seawater*. Indian: Indian Academy of Sciences.

- Paunovich, et al. 2010. *Fundamental Consideration – Modern Electroplating Fifth Edition*. New Jersey, USA. JohnWiley & Sons.
- Revie, R Winston. 2011. *Uhlig's Corrosion Handbook 3rd Edition*. Ontario: A John Wiley & Sons, Inc.
- Schweitzer, Philip A. 2006. *Paint and Coating Applications and Corrosion Resistance*. New York: Taylor & Francis Group.
- Selverian, Notis. 1987. *The Microstructure of 55 w/o Al-Zn-Si (Galvalume) Hot Dip Coatings*. New York: Springer-Verlag New York Inc.
- Sere, P. 1998. *Comparative Corrosion Behaviour of 55Aluminium-Zinc Alloy And Zinc Hot-Dip Coatings Deposited On Low Carbon Steel Substrates*. Great Britain: Elsevier Science Ltd.
- Shevla, G. 1985. *Vogel*. Jakarta: PT. Kalman Media Pustaka.
- 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
- Tsai, Tai Ming. 1995. *Protection of Steel Using Aluminum Sacrificial Anodes in Artificial Seawater*. *Journal of Marine Science and Technology*, Volume4, No.1, Tahun 1995, halaman 17 – 21.
- Tushinsky et al, 2002. *Coated Metal Structure and Properties of Metal-Coating Compositions*. New York, UnitedStates of America : Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Xu, Bao. 2005. *Nucleation and growth of 55%Al-Zn on Steel Substrate*. University of Walonggong.
- 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

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Syarif Alamudi lahir di kota Malang pada tanggal 25 Februari 1995 dari ayah bernama Usman Alamudi dan ibu bernama Huda Bawazir. Penulis adalah putra sulung dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Negeri Medokan Ayu 2/615 Surabaya, lalu SMP Negeri 1 Surabaya, lalu SMA Negeri 2 Surabaya. Penulis melanjutkan pendidikan di Institut

Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI. Semasa kuliah penulis aktif di berbagai kegiatan intra dan ekstra kampus antara lain pernah menjadi staf BSO KWU HMMT FTI-ITS 2013/2014, kemudian Staf Ahli BSO KWU HMMT FTI-ITS 2014/2015, staf LDJ Ash Habul Kahfi JTMM 2013/2014 dan berbagai kegiatan kepanitiaan HMMT FTI-ITS. Selain itu penulis juga memiliki pengalaman kerja praktisi di PT. Smelting Tbk. dan ditempatkan di Divisi Proses Teknologi dan mengerjakan proyek khusus mengenai studi analisa kegagalan pada *Cage Mill* PT Smelting Tbk. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil topik mengenai teknologi pelapisan.