



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH JARAK *NOZZLE* TERHADAP
KETAHANAN KOROSI DAN KETAHANAN ABRASI
PADA PROSES *THERMAL SPRAY ALUMINIUM*
MATERIAL API 5L GRADE B**

GHAFAR FAHRIZAL AZIZ
NRP 2712 100 115

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.
Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

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

(halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**EFFECT OF NOZZLE DISTANCE TO CORROSION
RESISTANCE AND ABRASIVE RESISTANCE IN
THERMAL SPRAY ALUMINIUM MATERIAL API 5L
GRADE B**

**GHAFAR FAHRIZAL AZIZ
NRP 2712 100 115**

Advisor

Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

Ir. Rochman Rochiem, M.Sc.

**Materials and Metallurgical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH JARAK *NOZZLE* TERHADAP
KETAHANAN KOROSI, DAN KETAHANAN
ABRASIF PROSES *THERMAL SPRAY ALUMINIUM*
MATERIAL API 5L GRADE B**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi
pada

Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

GHAJAR FAHRIZAL AZIZ

NRP. 2712 100 115

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Agung Purniawan ST., M. Eng. (Pembimbing I)

Ir. Rochman Rochiem, M. Sc. (Pembimbing II)



**PENGARUH JARAK *NOZZLE* TERHADAP KETAHANAN
KOROSI DAN KETAHANAN ABRASIF PADA PROSES
THERMAL SPRAY ALUMINIUM MATERIAL API 5L
GRADE B**

Nama : Ghafar Fahrizal Aziz
NRP : 2712 100 115
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Co-Pembimbing : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

Abstrak

Baja API 5L Grade B merupakan material yang sesuai dengan aplikasi pada pipa perminyakan. Dengan kondisi lingkungan air laut dibutuhkan suatu sistem lapisan (coating) untuk melindungi permukaan baja tersebut agar tidak mudah terkorosi dan tahan terhadap abrasi air laut. Pada penelitian ini digunakan metode thermal spray aluminium dengan variasi jarak nozzle terhadap substrat sebesar 100, 200, dan 300 mm. Aluminium merupakan salah satu logam yang sesuai sebagai lapisan untuk baja karena aluminium membentuk lapisan pasif sebagai pelindung baja pada derajat keasaman tertentu dan tahan terhadap abrasi pada lingkungan air laut itu sendiri. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian ketebalan, daya lekat, ketahanan korosi, ketahanan abrasi, morfologi permukaan coating dengan SEM, dan EDX. Hasil penelitian menunjukkan ketebalan lapisan coating paling tinggi pada jarak 300 mm dengan nilai 1032.67 mikrometer. Corrosion rate paling rendah terdapat pada jarak 300 mm dengan nilai 0.049397 mm/year. Ketahanan abrasif paling tinggi pada jarak 100 mm. Material yang paling baik digunakan di lingkungan air laut adalah spesimen dengan jarak nozzle 200 mm yang memiliki ketahanan korosi dan ketahanan abrasi yang baik.

Kata kunci : API 5L Grade B, Korosi, Thermal Spray Aluminium

**THE EFFECT OF NOZZLE DISTANCE TO CORROSION
RESISTANCE, AND ABRASIVE RESISTANCE IN
THERMAL SPRAY ALUMINIUM MATERIAL API 5L
GRADE B**

Name : Ghafar Fahrizal Aziz
NRP : 2712 100 115
Department : Teknik Material dan Metalurgi
Advisor : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng
Co-Advisor : Ir. Rochman Rochiem, M.Sc

Abstract

API 5L Grade B is a material that most used for pipeline application. In seawater environment, the material must be protected with coating system for corrosion resistance and abrasive resistance. This experiment was used thermal spray aluminium methode with variation of nozzle distance 100,200,300 mm. Aluminium is a metal that can be used for coating system due to the ability to make passive layer for corrosion resistance and abrasive resistance in seawater environment. The testing of this experiment were thickness test, adhesive test, corrosion resistance test, abrasive resistance test, and morphology of coating surface. The measurement of coating thickness results that the highest coating thickness is in 300 mm nozzle distance 1032.67 mikrometer. The lowest corrosion resistance is 0.049397 mm/year. The highest abrasive resistance is in 100 mm nozzle distance. Spesiment with nozzle distance 200 mm is the best for used in seawater environment due to high corrosion resistance and abrasive resistance.

Key word : *API 5L Grade B, Corrosion, Thermal Spray Aluminium*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pipa Perminyakan.....	3
2.2 Korosi.....	3
2.2.1 Definisi Korosi.....	3
2.2.2 Sel Korosi Basah.....	4
2.2.3 Jenis-Jenis Korosi.....	5
2.2.4 Pengendalian Korosi.....	6
2.3 Keausan.....	7
2.3.1 Mekanisme Keausan pada Lapisan Coating.....	8
2.4 Standar Material Pipa.....	8
2.5 Pelapisan (Coating)	11
2.5.1 Definisi Coating.....	11
2.5.2 Sifat dari Lapisan.....	12
2.5.3 Coating sebagai Pengendalian Korosi.....	16
2.6 Coating Metalik.....	19
2.6.1 Definisi Coating Metalik.....	19

2.6.2	Sifat Coating Metalik.....	20
2.7	Thermal Spray Coating.....	21
2.7.1	Definisi Thermal Spray Coating.....	21
2.7.2	Karakteristik Thermal Spray Coating.....	22
2.8	Aluminium.....	24
2.9	Sealers and Topcoats.....	26
2.10	Pengaruh Jarak Nozzle terhadap Ketahanan Abrasif..	26
2.11	Penelitian Sebelumnya.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	29
3.2	Alat Penelitian.....	30
3.3	Bahan Penelitian.....	33
3.4	Metode Penelitian.....	33
3.4.1	Preparasi Spesimen API 5L Grade B.....	33
3.4.2	Proses Pelapisan.....	34
3.5	Pengujian.....	35
3.5.1	Ketebalan Lapisan Coating.....	35
3.5.2	Daya Lekat Lapisan Coating.....	35
3.5.3	Ketahanan Korosi	36
3.5.4	Ketahanan Abrasif.....	36
3.5.5	Pengujian Morfologi Coating.....	37
BAB IV ANALISI DATA DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	Analisis Data.....	39
4.1.1	Pengamatan Visual.....	39
4.1.2	Pengujian Ketebalan.....	40
4.1.3	Pengujian Daya Lekat.....	40
4.1.4	Pengujian Ketahanan Korosi.....	42
4.1.5	Pengujian Ketahanan Abrasif.....	45
4.1.6	Pengujian Morfologi Coating.....	46
4.1.7	Pengujian EDX.....	50
4.2	Pembahasan.....	50

4.2.1	Pengujian Ketebalan.....	51
4.2.2	Pengujian Daya Lekat.....	52
4.2.3	Pengujian Ketahanan Korosi.....	53
4.2.4	Pengujian Ketahanan Abrasif.....	54
4.2.5	Pengujian Morfologi Coating.....	55
4.2.6	Pengujian EDX.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		56
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....		xi

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia PSL 1 API 5L.....	9
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia PSL 2 API 5L.....	10
Tabel 2. 3 Kekuatan Tarik PSL 1 API 5L	10
Tabel 2. 4 Kekuatan Tarik PSL 2 API 5L.....	11
Tabel 2. 5 Media Blasting dan Ukurannya.....	23
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Material API 5L Grade B.....	33
Tabel 4. 1 Hasil Uji Ketebalan.....	40
Tabel 4. 2 Hasil Uji Daya Adhesi.....	41
Tabel 4. 3 Nilai <i>Corrosion Rate</i>	45
Tabel 4. 4 Nilai Laju Aus.....	46

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Sel Elektrolit Sederhana.....	5
Gambar 2. 2 Konsep Lapisan Penghalang.....	17
Gambar 2. 3 Konsep Proteksi Katodik.....	18
Gambar 2. 4 Konsep Lapisan Inhibisi.....	18
Gambar 2. 5 Mekanisme <i>Thermal Spray Coating</i>	22
Gambar 2. 6 Proses <i>Thermal Spray Coating</i>	22
Gambar 2.7 Diagram Pourbaix untuk aluminium murni di air laut.....	25
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 DFT (<i>Dry Film Thickness</i>).....	30
Gambar 3. 3 Alat <i>Sand Blasting</i>	30
Gambar 3. 4 <i>Spray Gun</i>	31
Gambar 3. 5 Alat Uji Adhesi.....	31
Gambar 3. 6 Alat Uji Aus.....	32
Gambar 3. 7 Alat Uji Polarisasi.....	32
Gambar 3.8 Alat Uji SEM.....	33
Gambar 4. 1 Permukaan Material Coating.....	39
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Daya Lekat Material Coating.....	41
Gambar 4.3 Spesimen Uji TAFEL.....	42
Gambar 4. 4 Kurva Nova Spesimen Non-Coating.....	43
Gambar 4. 5 Kurva Nova Spesimen Coating dengan Jarak 100 mm.....	43
Gambar 4. 6 Kurva Nova Spesimen Coating dengan jarak 200 mm.....	44
Gambar 4. 7 Kurva Nova Spesimen Coating dengan jarak 300 mm.....	44
Gambar 4. 8 Morfologi Coating pada sampel Jarak 100 mm (a) Permukaan dengan perbesaran 100x (b) Cross-section dengan perbesaran 50x.....	47

Gambar 4. 9 Morfologi Coating pada sampel Jarak 200 mm (a) Permukaan dengan perbesaran 100x (b) Cross-section dengan perbesaran 50x.....	48
Gambar 4. 10 Morfologi Coating pada sampel Jarak 300 mm (a) Permukaan dengan perbesaran 100x (b) Cross-section dengan perbesaran 50x.....	49
Gambar 4. 11 Pencitraan SEM perbesaran 500x.....	50
Gambar 4. 12 Persentase Unsur Uji EDX.....	51
Gambar 4. 13 Pengaruh Jarak Nozzle terhadap Ketebalan.....	52
Gambar 4. 14 Pengaruh Jarak Nozzle terhadap Daya Lekat.....	53
Gambar 4. 15 Pengaruh Jarak Nozzle terhadap Corrosion Rate..	54
Gambar 4. 16 Pengaruh Jarak Nozzle terhadap Laju Aus.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kegiatan produksi minyak, tak jarang minyak tersebut diproduksi di satu tempat dan didistribusikan ke tempat lain yang membutuhkan minyak tersebut. Dalam hal ini, mobilitas sebuah perusahaan *oil and gas* sangat berpengaruh terhadap keuntungan perusahaan tersebut. Salah satu media penyalur minyak adalah pipa yang ditempatkan pada berbagai lingkungan, salah satunya pada air laut.

Seperti yang sudah diketahui, air laut merupakan sebuah lingkungan yang sangat korosif dikarenakan pada air laut tersebut mengandung banyak zat garam. Dengan keadaan lingkungan seperti ini, material pipa perminyakan di air laut harus tahan terhadap sifat korosif dan abrasif air laut itu sendiri. Baja API 5L Grade B merupakan material yang sesuai dengan aplikasinya pada pipa perminyakan. Tetapi, dengan kondisi lingkungan air laut dibutuhkan suatu pengendalian korosi agar baja tersebut tidak mudah terkorosi. Salah satu metode pengendalian korosi adalah pelapisan atau *coating*. Sistem pelapisan dua jenis yaitu pelapisan organik dan pelapisan metalik. Pelapisan secara metalik membutuhkan logam yang lebih anodik untuk memproteksi baja. Aluminium merupakan salah satu logam yang sesuai sebagai lapisan atau *coating* untuk baja karena aluminium membentuk lapisan pasif sebagai pelindung baja pada derajat keasaman tertentu.

1.2 Perumusan Masalah

Dari uraian pada latar belakang tersebut muncul permasalahan yaitu: Bagaimana pengaruh jarak *nozzle* terhadap ketahanan korosi dan ketahanan abrasif baja API 5L Grade B pada lingkungan laut ?



1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengaruh lingkungan sekitar diabaikan
2. Temperatur proses dianggap konstan
3. Spesimen uji dianggap homogen dan tanpa cacat

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

Untuk menganalisis pengaruh variasi jarak *nozzle thermal spray aluminium* terhadap ketahanan korosi dan ketahanan abrasi pada lingkungan air laut.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai rekomendasi kepada pihak terkait dalam penanganan material baja API 5L Grade B pada aplikasi perpipaan minyak pada lingkungan air laut yang bersifat korosif.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pipa Perminyakan

Pipa dalam industri *oil and gas* sangat penting aplikasinya sebagai media penyalur minyak dan gas dari satu tempat ke tempat yang lain. Pipa ini banyak ditempatkan pada berbagai lingkungan, contohnya air laut. Dengan lingkungan air laut yang bersifat korosif, maka material atau baja untuk aplikasi pipa bawah laut ini harus tahan terhadap lingkungan yang korosif juga. Pipa perminyakan ini menggunakan baja dengan kadar karbon rendah, misalnya baja API 5L Grade B.

2.2 Korosi

2.2.1 Definisi Korosi

Korosi dapat diartikan sebagai suatu perusakan suatu material karena bereaksi dengan lingkungannya. Reaksi ini menghasilkan oksida logam, sulfida logam atau hasil reaksi lain.

Menurut jenis reaksinya, korosi dapat digolongkan sebagai korosi kimia dan korosi elektrokimia

Korosi kimia terjadi secara murni reaksi kimia tanpa adanya cairan elektrolit, biasanya terjadi pada suhu yang relatif tinggi, atau dalam lingkungan udara yang kering.

Sebaliknya, korosi elektrokimia biasanya terjadi di lingkungan yang basah, pada temperatur yang relatif rendah, dengan berbagai bentuk korosi yang berbeda, mengikuti mekanisme elektrokimia yaitu terjadinya reaksi oksidasi (reaksi anodik) dan reaksi reduksi (reaksi katodik). (Sulistijono, 1999)

Berdasarkan *National Association of Corrosion Engineers* (NACE) International, korosi didefinisikan sebagai “kerusakan bahan, biasanya logam, terjadi karena reaksi antara logam dengan lingkungannya.



2.2.2 Sel Korosi Basah

Dalam sel korosi basah sederhana seperti pada gambar 2.1 terdapat beberapa komponen penting daalam sel ini, diantaranya adalah :

a. Anoda

Anoda terkorosi dengan melepaskan elektron atom logam netral untuk membentuk ion-ion. Ion ion ini kemungkinan tetap ada pada larutan atau bisa membentuk hasil korosi yang tidak larut. Anoda biasanya menjadi anoda korban untuk melindungi logam yang ingin diproteksi.

b. Katoda

Katoda tidak terkorosi atau logam yang ingin dilindungi.

c. Elektrolit

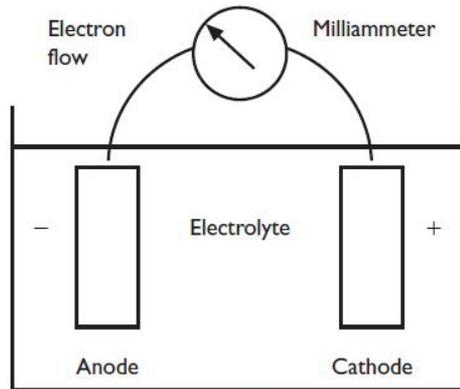
Isitilah ini biasanya dihubungkan dengan larutan, tentunya larutan yang dapat menghantarkan listrik.

d. Hubungan Listrik

Anoda dan katoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Jika anoda dan katoda merupakan bagian logam yang sama, tidak diperlukan hubungan secara fisik.

(Trethewey, 1991)

Baja memiliki sebuah lapisan proteksi yang lemah pada permukaannya, dengan adanya uap air dan oksigen korosi terjadi. Korosi adalah reaksi elektrokimia, pada dasarnya proses yang terjadi sama dengan proses pada sel elektrolit sederhana, dimana bahan utamanya adalah sebuah sel dengan dua elektroda yaitu anoda dan katoda digabungkan oleh konduktor eksternal dan tercelup didalam sebuah elektrolit. (Bayliss, 2002)



Gambar 2. 1. Sel Elektrolit Sederhana (Bayliss,2002)

2.2.3 Jenis-Jenis Korosi

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, korosi terjadi apabila ada empat faktor, yaitu katoda, anoda, elektrolit, dan kontak metalik. Jenis-jenis korosi tentunya berbeda-beda. Berikut dibahas beberapa jenis-jenis korosi :

a. Korosi logam tak sejenis

Istilah untuk jenis logam ini digunakan jika korosi disebabkan oleh dua logam tak sejenis yang tergandeng membentuk sel-sel korosi sederhana. Sebutan lain jenis korosi ini yaitu **korosi dwilogam** atau **korosi galvanik**.

b. Serangan selektif

Pada korosi jenis ini terdapat beberapa jenis korosi, seperti korosi batas butir, korosi intergranular, dan peluluhan selektif.

c. Korosi celah dan korosi sumuran

d. Korosi erosi

(Trethewey, 1991)



2.2.4 Pengendalian Korosi

Korosi telah didefinisikan sebagai penurunan mutu logam akibat reaksi antara logam dengan lingkungannya melalui sel elektrokimia. Bentuk serangan ini tidak dapat dicegah, hanya bisa dikendalikan sehingga struktur atau komponen mempunyai umur pakai yang lebih panjang. Pengendalian bisa dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah :

- a) Memodifikasi Rancangan.
- b) Memodifikasi Lingkungan.
- c) Memberi Lapisan Pelindung.
- d) Pemilihan Bahan (*Material Selection*)
- e) Proteksi Katodik atau Anodik.
- f) Inhibitor

Pengendalian korosi dengan memodifikasi rancangan dilakukan dengan meramalkan berapa umur yang diharapkan struktur tersebut untuk bertahan, memodifikasi rancangan dengan meramalkan apa yang terjadi pada struktur tersebut berdasarkan lingkungan tempat komponen tersebut bekerja, menghindari semua sel korosi karena dua metal yang berbeda (dwilogam), menghindari struktur dari sel aerasi diferensial.

Cara untuk mengendalikan korosi dengan memodifikasi lingkungan adalah dengan merubah atau memodifikasi lingkungan tempat struktur tersebut bekerja. Misalnya pada lingkungan berwujud gas, metode yang dapat digunakan untuk mengurangi laju korosi di udara bebas adalah :

1. Menurunkan kelembapan relatif.
2. Menghilangkan komponen yang mudah menguap.
3. Mengubah temperatur.
4. Menghilangkan kotoran-kotoran, endapan yang membentuk katoda, dan ion-ion agresif.

Cara mengendalikan korosi dengan memberi lapisan pelindung atau *coating* dimaksudkan sebagai *barier* atau penghalang antara baja dengan lingkungannya. Terdapat dua tipe dalam sistem *coating* atau pelapisan yaitu *coating* secara organik



dan *coating* metalik yang menggunakan logam yang bersifat lebih reaktif dibandingkan dengan logam yang ingin diproteksi.

(Trethewey, 1991)

Untuk melindungi logam secara katodik maupun anodik, ada dua metode; *sacrificial anode* (anoda korban) dan *impressed current cathodic protection* (ICCP). Ketika melindungi logam secara *sacrificial anode*, dua logam harus ditaruh pada elektrolit yang sama dan terhubung secara elektrik, dan membentuk jalur elektrokimia. Anoda korban terkorosi karena anoda korban terbuat dari metal dengan nilai potensial yang lebih rendah dibandingkan dengan logam yang dilindungi. Saat terkorosi, anoda korban menyuplai elektron ke logam yang ingin dilindungi, mencegah reaksi anoda pada logam yang dilindungi.

(Egtvedt, 2011)

Pengendalian korosi dengan inhibitor adalah memasukkan larutan kimia dengan tujuan untuk mengurangi korosivitas pada fluida sehingga laju korosi menurun. Inhibitor ini membentuk lapisan inhibisi pada permukaan logam atau menangkap unsur yang menyebabkan korosi.

(ASCOATINDO,2014)

2.3 Keausan

Suatu alat atau komponen tentunya berhubungan dengan material. Baik atau tidaknya material tersebut sangat bergantung pada sifat mekanik material itu sendiri. Salah satu sifat mekanik material adalah ketahanan aus atau *wear resistance*. Ketahanan aus erat hubungannya dengan kekerasan dan gaya gesek. Pengujian ketahanan aus dilakukan dengan menggesekkan material yang ingin diuji dengan material lainnya sehingga dapat ditentukan selisih ketebalan awal dan ketebalan akhir.

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan (friksi) antar permukaan padatan. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak



permukaan). Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. (Holmberg, 2009).

2.3.1 Mekanisme Keausan pada Lapisan Coating

Proses terjadinya keausan akibat serangan abrasif pada permukaan lapisan *coating* disebabkan apabila suatu partikel keras material tertentu meluncur dan menggesek atau menggores permukaan material coating yang relatif memiliki sifat lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras tersebut.

Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

- a. *Material hardness*
- b. Kondisi struktur mikro
- c. Ukuran material *abrasive*
- d. Bentuk.

Abrasif bentuk kerusakan permukaan akibat *abrasive wear* antara lain:

- a. *Scratching* (Penggoresan secara Datar)
- b. *Scoring* (Penggoresan secara Radial / Putaran)
- c. *Gouging* (Penggoresan menggunakan media pasir dan dilakukan secara Radial)

2.4 Standar Material Pipa

Standar material untuk pipa sudah ditentukan oleh banyak lembaga, seperti ASTM (*American Society of Testing Material*) dan API (*American Petroleum Institute*). Khusus API hanya



mengeluarkan standar pipa untuk aplikasi pada bidang perminyakan.

Spesification for Line Pipe : API 5L. Spesifikasi ini dimaksudkan untuk menyediakan standar pipa yang sesuai dengan bidang perminyakan. Spesifikasi ini meliputi pipa tanpa sambungan maupun dengan sambungan.

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

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia PSL 1 API 5L (Institute, 2004)

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


Tabel 2. 2 Komposisi Kimia PSL 2 API 5L (Institute, 2004)

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

Tabel 2. 3 Kekuatan Tarik PSL 1 API 5L (Institute, 2004)

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

**Tabel 2. 4** Kekuatan Tarik PSL 2 API 5L (Institute, 2004)

(1) Grade	(2) Yield Strength, Minimum		(3) Yield Strength, Maximum ⁹		(4) Ultimate Tensile Strength, Minimum		(5) Ultimate Tensile Strength, Maximum ⁶		(6) Elongation in 2 in. (50.8 mm), Minimum, Percent
	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	psi	MPa	
B	35,000	(241)	65,000 ^d	(448)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X42	42,000	(290)	72,000	(496)	60,000	(414)	110,000	(758)	a
X46	46,000	(317)	76,000	(524)	63,000	(434)	110,000	(758)	a
X52	52,000	(359)	77,000	(531)	66,000	(455)	110,000	(758)	a
X56	56,000	(386)	79,000	(544)	71,000	(490)	110,000	(758)	a
X60	60,000	(414)	82,000	(565)	75,000	(517)	110,000	(758)	a
X65	65,000	(448)	87,000	(600)	77,000	(531)	110,000	(758)	a
X70	70,000	(483)	90,000	(621)	82,000	(565)	110,000	(758)	a
X80	80,000	(552)	100,000 ^e	(690)	90,000	(621)	120,000	(827)	a

2.5 Pelapisan (Coating)

2.5.1 Definisi Coating

Sistem pelapisan digunakan untuk melindungi material dari serangan korosi secara ekstensif. Pemilihan jenis material dan metode *coating* harus memperhatikan beberapa faktor. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut :

1. Logam pelapis harus lebih tahan pada lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Logam pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.
4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori

Proteksi korosi pada diatas dan dibawah tanah dengan proteksi coating adalah salah satu metode yang disarankan.



Coating memiliki ketahanan korosi yang baik karena memiliki karakteristik seperti dibawah ini :

- a) Tingkat adhesi yang tinggi pada substrat
- b) Diskontinuitas yang minim pada *coating* (porosity)
- c) Ketahanan yang tinggi terhadap electron
- d) Ketebalan yang cukup
- e) *Low diffusion rate* pada ion seperti Cl⁻ dan H₂O

Proteksi *coating* secara luas banyak digunakan untuk mengontrol korosi. Penggunaannya sebagai proteksi jangka panjang dilingkungan yang korosif, seperti pada lingkungan yang banyak mengalami proses kimia. *Coating* harus memberikan penghalang secara terus-menerus pada substrat, sebab ketidaksempurnaan *coating* bisa menyebabkan degradasi dan korosi pada substrat (Hill,2000)

Pelapisan terdiri dari beberapa metode pelapisan dan pemilihan metode pelapisan didasarkan pada bentuk, ukuran, kemampuan adaptasi material terhadap metode yang digunakan, tingkat adhesi dan ketersediaan alat. (Prawara,2006)

Untuk melindungi logam dari lingkungan yang korosif, *Coating* dapat diaplikasikan. *Coating* organik dan logam yang digunakan, memiliki sifat yang berbeda dan berbagai penggunaan. Umumnya, untuk kedua jenis *Coating* ini adalah mengisolasi logam dari media korosif. Perbedaan utama adalah bahwa *Coating* logam yang konduktif, sedangkan *Coating* organik tidak. (Egtvedt,2011)

2.5.2 Sifat Lapisan

Coating memiliki beberapa sifat yang mempengaruhi kinerjanya dalam memproteksi substrat, yaitu : (ASCOATINDO, 2014)

1. Kekuatan Adhesi

Ikatan antara material coating dan permukaan logam yang dilapisi (adhesion) merupakan kunci keberhasilan coating menjalankan fungsinya sebagai protektif coating. Terlepas dari sifat-sifat yang lain, coating yang memiliki adhesi kuat dengan permukaan menahan integritasnya lebih lama dibandingkan



dengan adhesi yang lebih rendah walaupun memiliki sifat lain yang lebih. Adhesi dihasilkan oleh ikatan antara coating material dengan permukaan logam. Ikatan tersebut bisa merupakan ikatan fisik atau mekanik, ikatan kimia atau ikatan polar. Jenis ikatan ini tergantung jenis coating yang digunakan dan kondisi permukaan logam yang dicoating.

2. Permeabilitas

Tahan terhadap air, merupakan sifat yang paling penting material coating, karena coating selalu kontak dengan uap air dalam satu bentuk atau dalam bentuk yang lain. organic coating sangat bervariasi dalam sifat permeabilitas terhadap moisture dan kemampuannya dalam membentuk penghalang, sehingga tidak ada satu jenis coating yang dapat berfungsi secara efektif dalam semua kondisi air karena begitu banyak bentuk air dan satu dengan lainnya berbeda.

3. Kekuatan Dielektrik

Dalam kasus penggunaan bersama protektif coating dan proteksi katodik, material coating harus memiliki dielectric Strength. Kekuatan dielektrik adalah kemampuan material coating untuk memutus rangkaian listrik yang terbangun selama reaksi korosi berlangsung. Hal ini terjadi dengan menahan jalannya elektron dan mencegah logam terlarut kedalam elektrolit pada anoda. Kekuatan dielektrik suatu lapisan dipengaruhi oleh penyerapan uap air, semakin rendah kemampuannya menyerap air, maka kekuatan dielektrik semakin baik.

4. Fleksibilitas

Coating material yang dapat bertahan dalam lingkungan yang korosif, harus memiliki sifat fleksibel karena coating material akan memanjang atau berkontraksi bersama-sama substrat akibat variasi temperatur dan tegangan. Coating material retak apabila tidak memiliki sifat fleksibilitas.

5. Ketahanan Abrasi

Coating yang digunakan pada bangunan kapal, helikopter decks, barges, offshore platforms adalah contoh-contoh aplikasi



coating yang baik. Coating selain berfungsi melindungi konstruksi serangan korosi tetapi juga harus memiliki sifat tahan terhadap abrasi. Aplikasi coating material pada komponen tersebut menerima beban gesekan karena mobilitas. Agar material coating dapat bertahan dalam lingkungan aplikasi tersebut, maka material coating harus memiliki sifat keras, tahan kejut, memiliki kekuatan adhesi yang kuat dan tetap tangguh.

6. Ketahanan Cuaca

Coating material yang tahan terhadap cuaca harus memiliki sifat seperti tahan terhadap sinar matahari, hujan, garam, kelembapan, kimia, ozon, debu, jamur, pemuai, pengkerutan benda kerja, dan siklus temperatur. Material coating yang tahan terhadap cuaca berarti material coating harus tahan terhadap semua kondisi yang telah dijelaskan, terhadap chalking, chocking, cracking, flaking, blistering, kehilangan daya rekat atau perubahan warna.

7. Ketahanan Kimia

Tahan kimia merupakan ketahanan resi kerusakan terutama apabila berada atau di ekspose di dalam lingkungan kimia. Secara umum, material coating yang termasuk dalam tahan kimia dan yang digunakan untuk proteksi korosi dilingkungan kimia harus memiliki sifat tahan terhadap garam, asam, alkali dengan variasi pH yang besar.

8. Ketahanan Bakteri dan Biologis

Coating yang digunakan pada daerah tropical dan subtropical sebaiknya mengandung anti jamur untuk mencegah coating dari kerusakan karena bakteri atau *biological defacement*. Peningkatan kotoran, secara dramatis jamur tersebut mengurangi keindahan tampilan coating, dan kemudian jamur membentuk kloni dan tidak menghilang tetapi penetrasi ke permukaan logam yang menimbulkan korosi. Material coating yang tidak memiliki minyak atau hydrocarbon pada lapisan umumnya lebih tahan terhadap bakteri dan jamur.

9. Ketahanan terhadap Kotoran



Sifat ini merupakan sifat yang berkaitan dengan tampilan. Beberapa jenis coating cenderung menangkap kotoran dan debu dari udara atau atmosfer, tetapi ada juga jenis coating yang tidak terpengaruh terhadap debu dan kotoran, sehingga tetap kelihatan bersih dan bersinar, kecuali kondisi yang ekstrim.

10. Ketahanan Temperatur Tinggi

Beberapa jenis coating digunakan untuk kegunaan yang spesifik atau khusus dimana temperatur merupakan faktor utama, seperti coating yang digunakan untuk stacks dan bagian luar pressure vessels. Apabila material coating digunakan dalam lingkungan yang dingin maka ada tiga hal yang perlu diperhatikan yaitu daya rekat, pengerutan, dan pengetasan.

11. Ketahanan terhadap Penuaan

Material coating harus dapat memberikan proteksi dalam jangka waktu tertentu. Material protektif coating harus mampu memberikan proteksi secara efektif sampai beberapa tahun tergantung kondisi lingkungan yang bervariasi cukup luas.

12. Ketahanan Radiasi

Dengan adanya energi atom dan tenaga atom, coatings digunakan secara luas untuk proteksi terhadap kontaminasi radio aktif dari berbagai substrat. Agar kondisi menjadi efektif saat digunakan pada berbagai instalasi, coatings harus mampu menahan bermacam-macam sejumlah radiasi. Beberapa coating mengeras, menjadi sangat getas, menyusut, dan retak pada dosis yang berat dari radiasi. Dan lainnya cenderung untuk depolimerisasi dan menjadi lengket dan halus, selagi masih lainnya blister dan kehilangan adhesi.

13. Ketahanan terhadap Tekanan Tanah

Tekanan tanah merupakan hal yang sangat penting pada hubungan dengan pipeline coating bawah tanah. Pipa menjadi meluas dan berkontraksi ketika temperatur berubah, seperti halnya pembengkakan dan kontrakasi dari dengan tanah seperti dengan kondisi air. Ini merupakan masalah pada tanah liat yang tekanannya tinggi, dimana peluasan suatu sudut menjadi besar ketika basah dan menyusut pada jumlah yang sama ketika



kering. Siklus ini mengakibatkan coating dari pipa membuat retak, kosong, atau bagian yang tipis.

14. Ketahanan Cathodic Disbonding

Cathodic Disbonding adalah jenis kegagalan yang disebabkan oleh proteksi katodik. Hal ini dihubungkan dengan elektroendosmosis. Lapisan harus memiliki ketahanan potensial elektrik dibawah proteksi katodik. Banyak dari coating dapat menahan potensial katodik pada kira-kira -1,0 volt, dengan potensial optimum pada -0,85 volt. Potensial dari 1,1 volt dan di atasnya dapat membuat kondisi untuk cathodic disbonding tergantung dari coating, ketebalannya, kekuatan dielektrik, ketahanan terhadap air, dan faktor lainnya.

15. Ketahanan Gesek

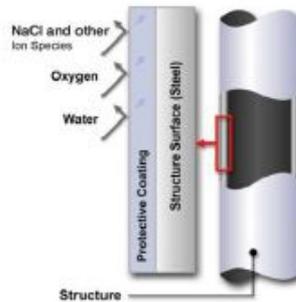
Beberapa aplikasi coating menerima beban gesekan. Misalnya pada sambungan rivet atau mur dan baut, dimana dua permukaan logam bergesekan pada waktu sambungan tersebut menerima beban.

2.5.3 Coating sebagai Pengendalian Korosi

Untuk menghentikan atau setidaknya memperlambat laju korosi, perlu dilakukan langkah untuk menghentikan, membuang, atau mengisolasi setidaknya satu dari empat elemen penyebab korosi seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa ada beberapa cara untuk mengendalikan korosi, salah satunya adalah dengan metode pelapisan atau *coating*. Berikut adalah cara mengendalikan korosi dengan metode *coating*

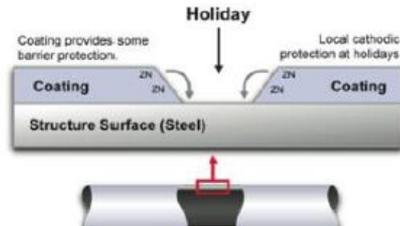


1. Membuat penghalang antara logam dan lingkungannya seperti pada gambar 2.2. Ini adalah alasan utama dalam proteksi dengan metode *coating* yaitu dengan membuat penghalang antara logam dengan lingkungannya. Jika elektron tidak bisa mencapai logam, maka tidak terjadi aliran elektrik sehingga korosi tidak terjadi.



Gambar 2. 2 Konsep Lapisan Penghalang (NACE,2012)

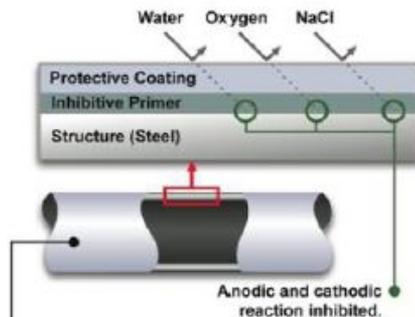
2. Membuat lapisan korban antara logam dan lingkungannya
Cara yang paling sering digunakan dengan konsep ini adalah dengan menggunakan seng. Seng dapat diaplikasikan pada proses *hot-dipping*, *thermal spray* (TSZ). Proteksi ini menjelaskan jika seng lebih aktif dibandingkan dengan baja. Setiap kontak dengan elektrolit menghasilkan sel korosi dimana seng lebih aktif larut untuk memproteksi logam yang lebih aktif (baja). Konsep proteksi katodik seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Konsep Proteksi Katodik (NACE,2012)

3. Membuat reaksi inhibitif untuk mencegah korosi

Cara ini dapat dipakai dengan menggunakan pigmen yang larut pada lapisan pelindung. Seperti pada gambar 2.4, ketika lapisan pelindung ini bereaksi dengan kelembapan tertentu, produk reaksi kimia dari pigmen dan lapisan pelindung ini membentuk lapisan pasif di permukaan.



Gambar 2. 4 Konsep Lapisan Inhibisi (NACE,2012)

(NACE,2012)



2.6 Coating Metalik

2.6.1 Definisi Coating Metalik

Coating metalik diterapkan untuk substrat logam untuk beberapa tujuan. Tujuannya salah satunya adalah peningkatan ketahanan korosi, ketahanan aus, dan tampilan dari substrat itu sendiri.

Dengan membuat sebuah penghalang antara substrat dan lingkungannya, atau melindungi secara katodik, *coating* metalik melindungi substrat dari korosi. *Coating* menggunakan kromium, tembaga, dan nikel meningkatkan ketahanan abrasif dan ketahanan korosi yang baik. (Schweitzer, 2006)

Pelapisan dengan logam harus memperhatikan beberapa faktor, salah satunya adalah bahwa logam pelapis tidak boleh memicu korosi pada logam yang ingin diproteksi. Caranya dengan melapisi substrat dengan logam yang mempunyai potensial yang lebih rendah dibandingkan dengan logam yang ingin diproteksi sehingga logam *coating* yang terkorosi dan bersifat sebagai anoda korban. Selain itu sistem *coating* juga menunda reaksi korosi yang ada pada substrat karena menghindarkan substrat dengan lingkungannya.

Ada beberapa metode dalam sistem *coating* atau pelapisan, diantaranya adalah :

1. Pencelupan panas (*hot dipping*)

Dengan metode ini, substrat yang ingin dilindungi dicelupkan ke dalam bak yang berisi lelehan dari logam pelapis. Di antara logam pelapis dan logam yang ingin dilindungi terbentuk ikatan metalurgi baik karena terjadinya proses perpaduan *interface* (*interface alloying*). Pada metode ini pengaturan tebal lapisan cenderung sulit, lapisan cenderung tidak homogen.

2. Pelapisan dengan penyemprotan (*thermal spray coating*)

Logam pelapis berbentuk *wire* atau kawat dimasukkan ke bagian depan penyembur api, dan setelah logam pelapis meleleh segera dihembus dengan tekanan tinggi menjadi



butir-butir halus. Butir-butir halus tersebut menjadi pipih ketika membentur permukaan logam dan melekat di substrat. Lapisan dengan metode *coating* ini lebih berpori dibandingkan dengan metode pencelupan atau penyalutan lisrik.

3. Pelapisan dengan penempelan

Kulit dari logam lain yang lebih tahan korosi dapat dilapiskan ke logam lain yang sifat-sifat rekayasannya dibutuhkan struktur.

4. Pelapisan difusi

Metode ini adalah dengan cara mendifusikan logam pelapis, atau pelapis bukan logam, ke dalam lapisan permukaan logam yang ingin diproteksi dengan tujuan untuk membentuk selapis logam paduan pada komponen. Ikatan yang terjadi pada lapisan ini kuat sekali, tetapi pelapisan dengan metode ini hanya untuk benda yang relatif kecil.

2.6.2 Sifat Coating Metalik

Perilaku *coating* metalik dipengaruhi oleh beberapa faktor. Sifat elektrolit, konsentrasi oksigen, karakterisasi polarisasi, luas relatif anoda dan katoda, dan endapam permukaan pada logam *coating* berpengaruh terhadap kerja sel-sel korosi yang terbentuk. Jika lapisan yang digunakan bersifat anodik, konduktivitas dan kontinuitas elektrolit menentukan ukuran cacat permukaan yang masih diperbolehkan. Misalnya, jika suatu baja dilapisi dengan seng, cacat 3 mm saja dapat menimbulkan korosi dalam lingkungan air suling atau air lunak, tetapi pada air laut baja masih terprtoteksi meskipun cacat mencapai lebar berapa desimeter, tetapi laju hilangnya seng jauh lebih tinggi. Berikut dibahas beberapa logam-logam pelapis tertentu.

a. Seng

Meskipun seng lebih anodik dibandingkan dengan besi di dalam deret galvanik, produk korosi seng seperti senyawa oksida, hidroksida, dan karbonat basa membentuk selaput pelindung pada permukaan logam yang mengurangi laju korosi seng sampai ke tingkat yang jauh di bawah laju korosi besi maupun baja. Jadi



sebagai logam *coating*, seng panjang umurnya, tetapi sekaligus menjadi tumbal untuk melindungi logam.

b. Aluminium

Coating dengan aluminium biasanya dilakukan dengan metode *thermal spray* atau dengan *hot dipping*. Silikon ditambahkan ke dalam bak *hot dipping* untuk memperlambat pembentukan lapisan antar logam yang rapuh di antara logam *coating* dan logam yang ingin diproteksi.

2.7 Thermal Spray Coating

2.7.1 Definisi Thermal Spray Coating

Thermal Spray Coating membuat suatu lapisan di permukaan untuk melindungi maupun merubah sifat dari substrat suatu material. (Dorfman,2005)

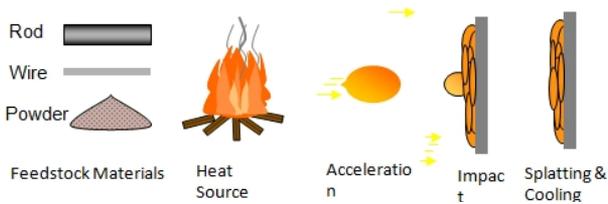
Ada beberapa metode yang berbeda dalam *Thermal Spray Coating*, tetapi semua dalam satu prinsip yang sama. *Coating Material*, *wire* atau *powder*, dimasukkan ke dalam *spraying gun*, dipanaskan menjadi cair atau semi cair dan kemudian didorong dengan gas atau udara menuju komponen yang diproteksi. Logam menyentuh material seperti percikan dan kemudian didinginkan. Mekanisme ikatan biasanya bersifat mekanik, dan beberapa bersifat metalurgi. (Siegmond,1997)

Berdasarkan sumber energinya, metode *thermal spray* dapat dibagi menjadi beberapa kelompok utama : *Plasma Spray* (*atmospheric plasma* APS, vakum plasma VPS, dan *low pressure plasma* LPPS), metode *combustion flame spray* (*flame spray*), metode *high velocity oxy/air-fuel* (HVOF/HVAF), metode *arc spray* dan lain-lain. (Setz,2001)

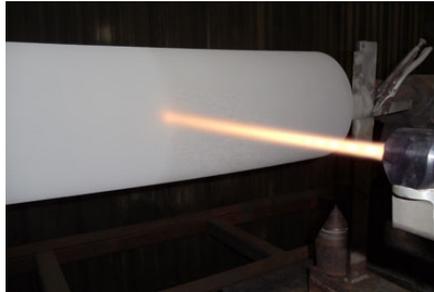
Metode *thermal spray* biasanya terdapat dalam beberapa bentuk *wire* dengan ukuran diameter 1/8 in, 3/16 in (3.2 mm atau 4.8 mm). Peralatan *Arc spray coating* memberikan produktivitas yang tinggi, sampai dengan empat kali lebih banyak dibandingkan *flame spray*. (Vincent, 2010)



Proses *thermal spray coating* seperti pada gambar 2.6 yaitu dengan memanaskan *raw material* berupa *wire* atau *powder* dengan energi listrik maupun gas. Setelah *raw material* tersebut meleleh, *molten metal* kemudian ditembakkan kepada substrat atau baja dan terdeposit di permukaan substrat. Mekanisme *thermal spray coating* dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2. 4 Mekanisme *Thermal Spray Coating*



Gambar 2. 6 Proses *Thermal Spray Coating*

2.7.2 Karakteristik Thermal Spray Coating

Partikel logam pada proses *Thermal Spray Coating* (seng dan aluminium) membutuhkan bentuk permukaan substrat yang kasar saat logam cair ditembakkan dari *spray gun*. Pada saat permukaan substrat kasar, partikel logam merata di permukaan substrat yang kasar dan berpola pada pori dan permukaan substrat yang tidak merata. Daya lekat dihasilkan baik secara



mekanik maupun kimiawi tergantung dari pola yang dihasilkan saat proses *abrasive blasting* pada permukaan substrat. DFT (*Dry Film Thickness*) dari lapisan *coating* tergantung dari material *coating* yang dipakai dan peralatan yang digunakan :

- ◆ Nilai DFT maksimum dari *flame sprayed coatings* berkisar dari 20 mils-125 mils.
- ◆ Nilai DFT dari *plasma sprayed coatings* berkisar dari 2 mils-20 mils.
- ◆ Nilai DFT dari *detonation sprayed coatings* seperti nikel, keramik, tungsten-karbida-kobalt 2 mils-20 mils.

(Vincent,2010)

Media abrasif dan ukurannya dapat dilihat pada tabel 2.5

Minimum Requirement : Near-white metal with > 2.5 mil surface profile			
Process	TS Feedstock	Blasting Media	Size
Arc wire and flame wire	Aluminium	Aluminium oxide	10-30 Mesh
	Zinc	Angular steel grit	G-16 to G-24
	85/15 Zn/Al	Cu & Ni slag	G-16 to G-24
	90/10 MMC	Almandite garnet	G-6 to G-30/40
Flame powder	Aluminium	Aluminium oxide	10-30 Mesh
	Zinc	Angular steel grit	G-16 to G-24
	85/15 Zn/Al		

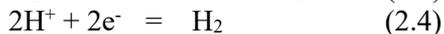
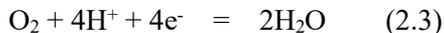


2.8 Aluminium

Aluminium diketahui sebagai logam yang tahan terhadap korosi. Ini dapat diketahui dari keberadaan oksida yang sangat stabil di permukaan. Penjabaran aluminium terjadi seperti pada persamaan 2.1. Oksida yang ada kemudian diikuti dengan oksidasi dari permukaan seperti pada persamaan 2.2. Seperti pada baja, di mana baja harus melepaskan oksigen untuk membentuk oksida, aluminium oksida berdeposit dengan memisahkan molekul udara. (Nisancioglu,1994)

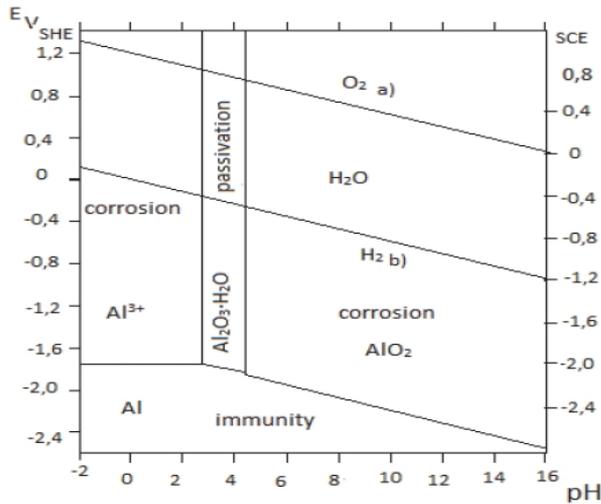


Elektron yang dikeluarkan kemudian dipakai untuk mereduksi reaksi seperti pada persamaan 2.3 dan 2.4. Anoda dan katoda bisa dikondisikan sama seperti logam, walaupun tidak dibutuhkan anoda eksternal untuk membuat proses tersebut berlangsung.



Aluminium oksida bersifat atmosferik, artinya tidak stabil baik pada lingkungan asam maupun alkalin. Ini bisa dilihat pada Gambar 2.2, dimana potensial ekuilibrium antara logam dan beberapa jenis oksidanya sebagai fungsi dari pH.

(Egtvedt,2011)



Gambar 2. 7 Diagram Pourbaix untuk aluminium murni di air laut (Nisancioglu,2007)

Aluminium digunakan sebagai bahan pelapis atau *coating* dikarenakan aluminium mempunyai potensial yang lebih rendah dibandingkan dengan baja. Dengan lebih rendahnya potensial aluminium, maka aluminium bersifat lebih reaktif dibandingkan dengan baja sehingga apabila dikondisikan di dalam lingkungan air laut, maka aluminium melindungi substrat atau baja dikarenakan aluminium bersifat sebagai anoda yang terkorosi dan aluminium bereaksi dengan oksida atau klor membentuk proses korosi.



2.9 Sealers and Topcoats

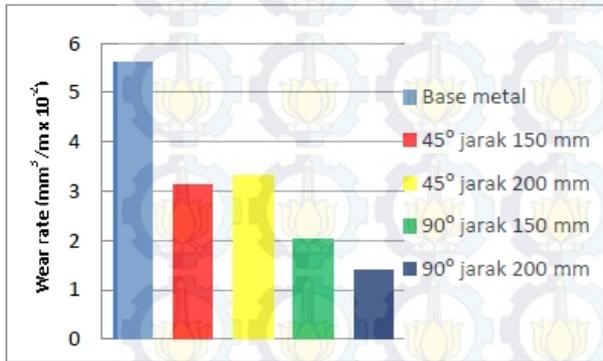
Aluminium dan seng TSCs dan paduannya mempunyai porositas dalam aplikasinya pada tebal lapisan sampai dengan 15%. Porositas ini bisa menjalar ke bawah sampai ke substrat. *Sealling* dari proses *thermally sprayed zinc* atau *aluminium* bisa memperpanjang umur operasi secara signifikan, khususnya di lingkungan dengan kelembapan tinggi atau kondisi lingkungan yang banyak guyuran maupun semprotan. Pemberian *sealers* atau *topcoats* biasanya diaplikasikan setelah proses *thermal spray* telah selesai dengan tujuan untuk menghindari berbagai permasalahan adhesif yaitu terbentuknya oksida dari reaksi antara seng atau aluminium dengan atmosfer atau udara. (Vincent,2010)

2.10 Pengaruh Jarak Nozzle terhadap Ketahanan Abrasif

Untuk mendapatkan nilai ketahanan abrasif dilakukan pengujian abrasif pada spesimen dengan parameter masing-masing. Pada pengujian abrasif kali ini didapatkan *wear rate* pada *base metal, coating* dengan sudut *nozzle* 45°, jarak 150 mm, sudut *nozzle* 45° jarak 200 mm, sudut *nozzle* 90° jarak 150 mm, sudut *nozzle* 90° jarak 200 mm. (Setiawan, 2013)



Berikut hasil komparasi dari uji abrasif dari *coating* 13% *chrome steel wire*



Gambar 2.8 Kurva komparasi nilai *wear rate* base metal, lapisan *coating* dengan sudut *nozzle* 45° jarak 150 mm, sudut *nozzle* 45° jarak 200 mm, sudut *nozzle* 90° jarak 150 mm, sudut *nozzle* 90° jarak 200 mm (Setiawan,2013)

2.11 Penelitian Sebelumnya

Setiawan (2013) meneliti tentang pengaruh variasi sudut *nozzle* dan jarak *nozzle* pada arc spray *coating* terhadap ketahanan abrasif lapisan 13% chrome steel.

Larasati (2013) meneliti tentang pengaruh jarak *nozzle* dan tekanan gas pada proses pelapisan Ni-20Cr dengan metode wire arc-spray terhadap ketahanan thermal.

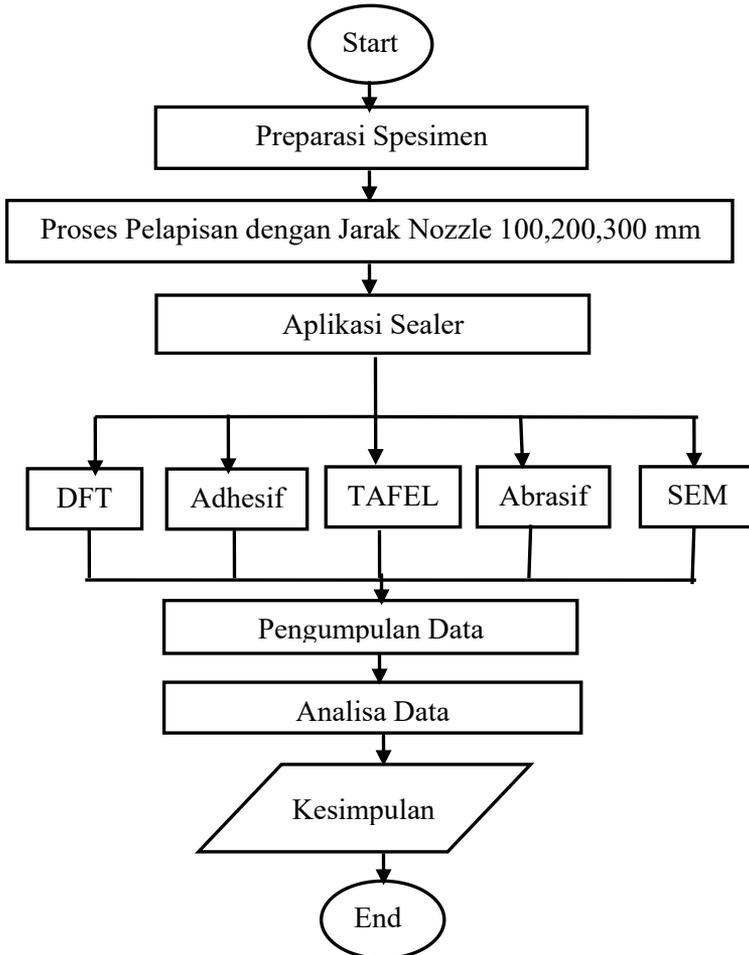
Suryadinata (2015) meneliti tentang pengaruh penambahan silika terhadap daya adhesi, ketahanan korosi, dan ketahanan abrasi cat epoksi.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Alat Penelitian

1. DFT (*Dry Film Thickness*)

Alat ini digunakan untuk mengukur ketebalan material *coating* pada saat material *coating* sudah kering.



Gambar 3. 2 DFT (*Dry Film Thickness*)

2. Alat *Abrasive Blasting*

Alat ini digunakan untuk mengkasarkan permukaan substrat sebagai salah satu syarat dalam proses *coating*.



Gambar 3. 3 Alat *Sand Blasting*

3. *Spray Gun*

Alat ini digunakan untuk memberi material *coating* pada substrat.



Gambar 3. 4 *Spray Gun*

4. Alat Uji Adhesi

Alat ini digunakan untuk menguji daya lekat antara material *coating* dan substrat. Alat ini bernama PosiTest AT-M *Adhesion*.



Gambar 3. 5 Alat Uji Adhesi

5. Alat Uji Aus

Alat ini digunakan untuk mengukur ketahanan aus berdasarkan perubahan tebal lapisan *coating* setelah pengujian.



Gambar 3. 6 Alat Uji Aus *Pin on Disk*

6. Alat Uji Ketahanan Korosi

Alat ini digunakan untuk menguji laju korosi pada spesimen yang telah di-*coating*.



Gambar 3. 7 Alat Uji Polarisasi PGSTAT128N



Gambar 3.8 Alat uji SEM

3.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Baja API 5L Grade B

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Material API 5L Grade B
(Institute, 2004)

Elemen	Kadar (%)
<i>Carbon</i>	0.22
<i>Mangan</i>	1.2
<i>Phospor</i>	0.025
<i>Sulfur</i>	0.015
<i>Titanium</i>	0.04

2. *Wire* Aluminium dengan komposisi 99,8% aluminium.

3.4 Metode Penelitian

Guna mendapatkan hasil yang diharapkan maka dalam penelitian ini dilakukan tahap-tahap percobaan sebagai berikut:

3.4.1 Preparasi Spesimen API 5L Grade B

Preparasi spesimen bertujuan untuk membuat permukaan substrat kasar agar material *coating* dapat menempel. Preparasi



permukaan spesimen sangat berpengaruh terhadap daya lekat material *coating* dengan substrat. Semakin kasar permukaan substrat maka material *coating* menempel semakin bagus, begitu juga sebaliknya. Sebelumnya spesimen dipotong dengan gerinda dengan dimensi 50 mm x 100 mm x 3 mm sebanyak 30 spesimen.

Preparasi spesimen ini dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Meratakan permukaan spesimen dengan menggunakan alat gerinda agar spesimen memiliki tingkat kerataan yang sama.
2. Mengkasarkan permukaan spesimen agar mencapai kekasaran tertentu sebagai syarat proses pelapisan dengan metode *sand blasting*. Spesimen disemburkan pasir *aluminium oxide* 2 mesh dengan kecepatan tinggi agar permukaan spesimen menjadi kasar. Setelah proses *sand blasting* selesai spesimen dibiarkan beberapa saat sebelum menuju proses selanjutnya yaitu proses pelapisan.

3.4.2 Proses Pelapisan

Proses pelapisan baja menggunakan metode *thermal spray aluminium* dengan tipe *raw material*, tekanan, dan arus sebagai berikut :

1. *Raw Material* : Aluminium *wire* dengan diameter 1.6 mm.
2. Tekanan : 4 bar.
3. Arus : 135 Ampere.

Proses *thermal spray aluminium* dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

1. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan seperti *spray gun*, dan mesin pemanas material *coating*.
2. Meletakkan spesimen pada suatu tempat untuk dilakukan proses pelapisan.
3. Merangkai *wire aluminium* pada *spray gun* untuk selanjutnya dipanaskan pada temperatur 660 °C.



4. Menyemprotkan aluminium cair ke permukaan spesimen dengan variasi jarak *nozzle*. Agar didapatkan hasil yang valid, proses pelapisan masing-masing variabel dilakukan dengan jumlah lapisan sebanyak tiga lapisan.
5. Setelah proses pelapisan selesai, spesimen dibiarkan beberapa saat sampai spesimen mencapai temperatur kamar.

3.5 Pengujian

3.5.1 Ketebalan Lapisan Coating

Pengujian ketebalan lapisan *coating* dilakukan untuk mengetahui besarnya ketebalan lapisan dengan variasi jarak *nozzle* saat proses pelapisan berlangsung. Pengujian ketebalan dilakukan di CV. Cipta Agung dengan menggunakan alat uji ketebalan *Dry Film Thickness (DFT) Elcometer* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.2. Pengujian ketebalan dilakukan pada tiga titik yang berbeda dari ujung ke ujung spesimen kemudian diambil nilai rata-ratanya.. Pengujian ketebalan dilakukan dengan menempelkan *probe* dari DFT ke permukaan lapisan selama beberapa saat sampai terdengar bunyi yang menandakan pengukuran ketebalan selesai. Nilai dari ketebalan ditunjukkan pada layar alat uji ketebalan dalam satuan mikrometer. Nilai ketebalan kemudian dicatat dan dihitung nilai rata-ratanya.

3.5.2 Daya Lekat Lapisan Coating

Pengujian daya lekat material *coating* terhadap permukaan spesimen dilakukan di CV. Cipta Agung dengan metode uji *pull-off* menggunakan alat PosiTest AT-M Adhesion Tester, dengan spesifikasi resolusi 1 psi (0.01 MPa) seperti gambar 3.5.

Spesimen ditempelkan dengan *dolly* dengan bentuk seperti pion catur. Penempelan spesimen uji terhadap alat penarik dilakukan dengan menggunakan lem epoxy dan lem epoxy dibiarkan selama 24 jam. Pengujian daya lekat dilakukan dengan memasukkan tuas penarik yang terhubung dengan alat pembaca



nilai daya lekat. *Dolly* yang telah ditempelkan sebelumnya ditarik secara perlahan-lahan sampai lapisan *coating* lepas dari spesimen dan kemudian nilai daya lekat terbaca dengan satuan MPa.

3.5.3 Ketahanan Korosi

Pengujian ketahanan korosi dilakukan di Laboratorium Elektrokimia dan Korosi Teknik Kimia ITS dengan metode uji TAFEL atau polarisasi dengan elektrolit NaCl 3.5%.

Langkah-langkah pengujian ini sebagai berikut :

1. Menyiapkan serbuk NaCl seberat 35.24 gram.
2. Melarutkan NaCl yang sudah disiapkan dengan 1000 ml aquades.
3. Menyiapkan spesimen uji polarisasi dengan ukuran 50 x 10 mm. Untuk pengujian polarisasi ini daerah yang terekspos dengan elektrolit dibuat dengan luas 10 x 10 mm. Spesimen dibuat batasan dengan menggunakan resin agar daerah yang terekspos atau yang terhitung nilai *corrosion rate*-nya adalah spesimen dengan luas 10 x 10 mm saja.
4. Melakukan pengujian polarisasi dengan menggunakan alat PGSTAT128N.
5. Hasil dari uji polarisasi berupa kurva polarisasi dengan sumbu x sebagai voltase dan sumbu y sebagai arus. Dari kurva polarisasi ini kemudian dicari nilai *i* corr yang didapat dari perpotongan garis singgung antara kurva anodik dan katodik. Nilai *i* corr ini kemudian dimasukkan pada rumus dan didapat nilai *corrosion rate*.

3.5.4 Ketahanan Abrasi

Pengujian ketahanan abrasif dilakukan di Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya dengan menggunakan metode pengurangan berat. Alat yang digunakan adalah *pin on disk*. Langkah-langkah pengujian ketahanan abrasif sebagai berikut :



1. Menyiapkan spesimen dengan dimensi 50 x 50 mm.
2. Menimbang berat awal spesimen.
3. Spesimen yang telah siap kemudian diletakkan pada penjepit agar spesimen tidak goyang.
4. Spesimen digosokkan pada kertas gosok yang mengikis permukaan spesimen selama satu jam dengan kecepatan putar tertentu.
5. Menimbang berat akhir spesimen.
6. Nilai ketahanan abrasif dihitung dengan pengurangan berat awal dan berat akhir.

3.5.5 Pengujian Morfologi Coating

Pengujian morfologi *coating* dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan alat uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan merk FEI S50. Pengujian ini dilakukan untuk melihat struktur permukaan material *coating*. Preparasi untuk pengujian ini dengan memotong spesimen dengan dimensi 10 x 10 mm. Setelah itu spesimen yang telah siap dapat diuji dengan alat SEM dan didapatkan gambar morfologi permukaan *coating* yang diinginkan.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Pengamatan Visual

Pengamatan makro dilakukan langsung secara visual pada spesimen setelah dilakukan proses *thermal spray aluminium*. Preparasi spesimen uji ini dilakukan dengan memotong spesimen dengan dimensi 50 x 100 mm x 3 mm. Gambar spesimen uji setelah proses *thermal spray aluminium* dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Permukaan Material setelah *coating*

Dari pengamatan secara visual dapat dilihat bahwa permukaan spesimen terlapisi secara merata oleh material *coating*. Permukaan spesimen yang telah dilapisi memiliki tingkat kerataan yang baik dengan ditandai oleh tidaknya permukaan spesimen yang terbuka atau belum terlapisi oleh material *coating*. Pada permukaan spesimen terlihat tidak adanya pori dikarenakan setelah proses *thermal spray aluminium*, permukaan material *coating* diberi *sealer* untuk menutup pori yang ada saat proses pelapisan berlangsung. Dari gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa proses pelapisan berjalan dengan baik.



4.1.2 Pengujian Ketebalan

Pengujian ketebalan digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan ketebalan *coating* terhadap perubahan jarak tembakan pada proses *coating*. Pengujian ketebalan menggunakan alat DFT (*Dry Film Thickness*). Hasil uji ketebalan dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil Uji Ketebalan

Variabel (mm)	Ketebalan (mikrometer)	Rata-Rata
100	917	924
	939	
	916	
200	1016	995
	1011	
	958	
300	1131	1032,67
	941	
	1026	

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak *nozzle* maka ketebalan lapisan *coating* meningkat. Dari hasil pengujian ketebalan didapatkan pula bahwa ketebalan lapisan *coating* merata dilihat dari nilai ketebalan pada tiga titik yang berbeda yang menunjukkan nilai yang tidak terlalu berbeda antara titik satu dengan titik yang lainnya.

4.1.3 Pengujian Daya Lekat

Pengujian daya lekat atau adhesi dilakukan untuk mengetahui seberapa kemampuan *coating* untuk melekat pada permukaan substrat. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM D-4541. *Dolly* yang sebelumnya sudah diberikan lem *araldite* kemudian ditarik dengan menggunakan alat *Pull of Tester*.



Pengujian ini dilakukan pada tiga titik yang berbeda untuk setiap sampel dan hasil setiap sampel nilainya diambil rata-ratanya. Gambar permukaan material yang telah diuji *pull of test* dapat dilihat pada gambar 4.2 dan hasil nilai daya lekat pada tabel 4.2.



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Daya Lekat Material *Coating*

Tabel 4. 2 Hasil Uji Daya Adhesi

Variabel (mm)	Nilai Adhesif (MPa)	Rata-Rata
100	51,40	52,81
	49,42	
	57,61	
200	45,83	47,04
	44,42	
	50,88	
300	40,04	39,17
	44,15	
	33,31	

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak *nozzle* maka nilai daya lekat menurun. Hal ini sama dengan teori yang



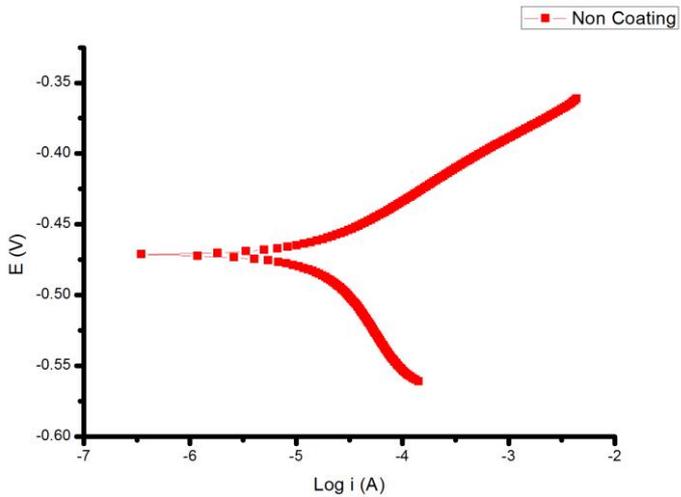
ada bahwa semakin meningkat nilai ketebalan lapisan *coating* maka nilai daya lekat menurun karena dengan meningkatnya ketebalan maka tegangan sisa antara spesimen dengan material *coating* semakin meningkat yang akan mengakibatkan menurunnya daya lekat.

4.1.4 Pengujian Ketahanan Korosi

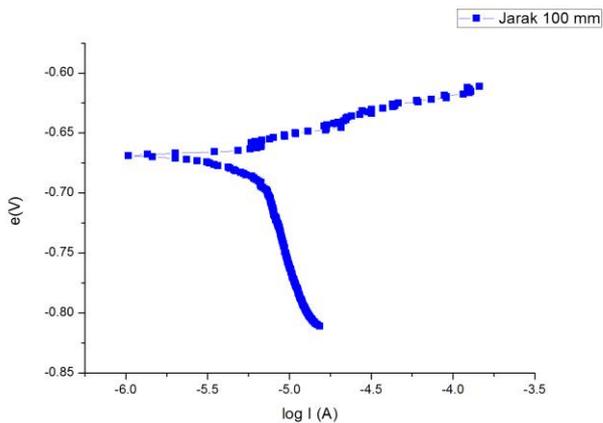
Pengujian ketahanan korosi dilakukan untuk mengetahui perbedaan laju korosi dengan variasi jarak tembakan saat proses pelapisan. Pengujian dengan metode Tafel dilakukan untuk mengetahui laju korosi dalam larutan NaCl 3,5%. Elektroda acuan yang digunakan adalah AgCl dan Platina sebagai elektroda pembantu. Hasil dari uji Tafel adalah kurva Nova dan nilai *corrosion rate* material itu sendiri. Gambar spesimen uji polarisasi pada gambar 4.3. Kurva polarisasi untuk spesimen tanpa *coating* dan tiga variasi jarak tembakan dapat dilihat pada Gambar 4.4 4.5, 4.6, dan 4.7.



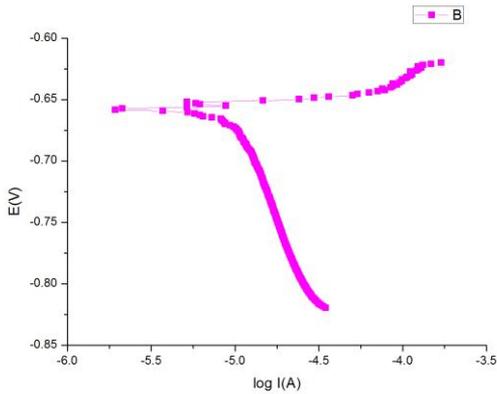
Gambar 4.3 Spesimen Uji Polarisasi



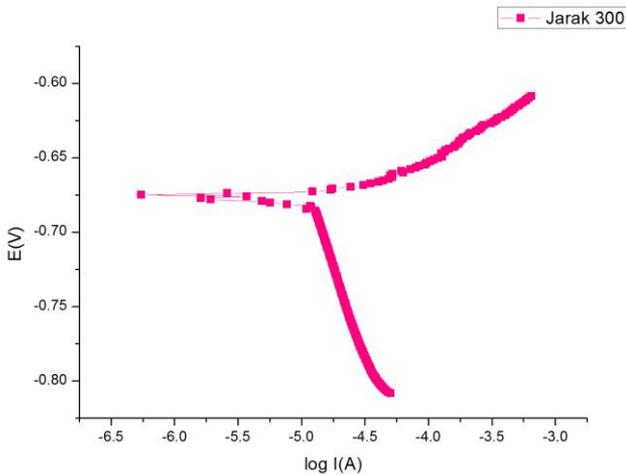
Gambar 4. 4 Kurva Polarisasi Spesimen *Non-Coating*



Gambar 4. 5 Kurva Polarisasi Spesimen *Coating* dengan Jarak 100 mm



Gambar 4. 6 Kurva Polarisasi Spesimen *Coating* dengan jarak 200 mm



Gambar 4. 7 Kurva Polarisasi Spesimen *Coating* dengan jarak 300 mm



Nilai dari laju korosi atau *corrosion rate* dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Nilai *Corrosion Rate*

Variabel (mm)	<i>Corrosion Rate</i> (mm/year)
Non Coating	0,29496
100	0,13109
200	0,1006
300	0,049397

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak *nozzle* maka nilai *corrosion rate* menurun. Hal ini sebanding dengan nilai ketebalan *coating* yang semakin meningkat dimana kenaikan ketebalan *coating* tersebut melindungi spesimen lebih baik dan umur pakai yang lebih panjang.

4.1.5 Pengujian Ketahanan Abrasif

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan aus pada material *coating*. Material *coating* diletakkan pada dudukan dan kemudian digosokkan pada kertas gosok dengan kecepatan tinggi dengan pembebanan sebesar 100 gram. Satuan dari laju abrasif atau laju aus ini adalah $\text{mg/cm}^2/\text{jam}$.

Nilai dari laju aus dapat dilihat pada tabel 4.4

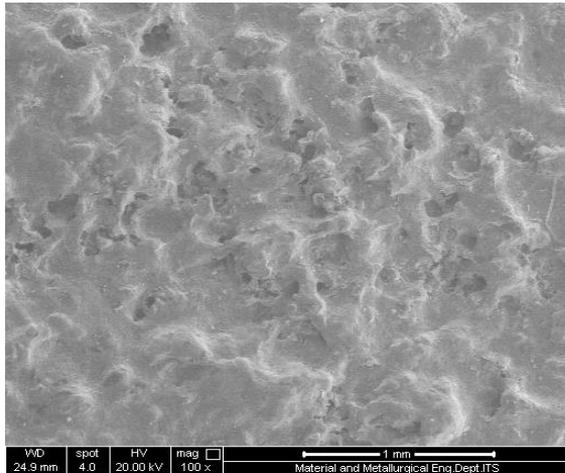
**Tabel 4. 4** Nilai Laju Aus

Variabel (mm)	Laju Aus (mg/cm ² /jam)
100	4.49
200	4.62
300	5.04

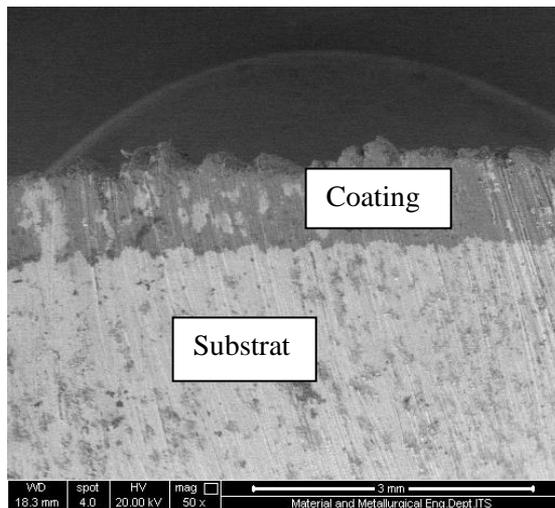
Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak *nozzle* maka laju aus meningkat. Dengan meningkatnya nilai laju aus maka ketahanan abrasif menurun disebabkan meningkatnya luasan yang terkikis dari pengujian abrasif ini

4.1.6 Pengujian Morfologi Coating

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui morfologi dari material *coating*. Hal ini ditujukan untuk mengetahui persebaran material *coating* rata atau tidak dan melihat ada tidaknya pori di permukaan material *coating*. Pengujian ini menggunakan mesin SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Gambar 4.8 sampai Gambar 4.10 menunjukkan morfologi *coating*.

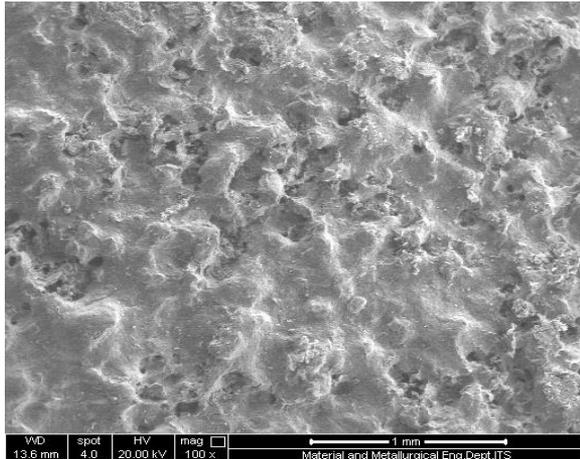


(a)

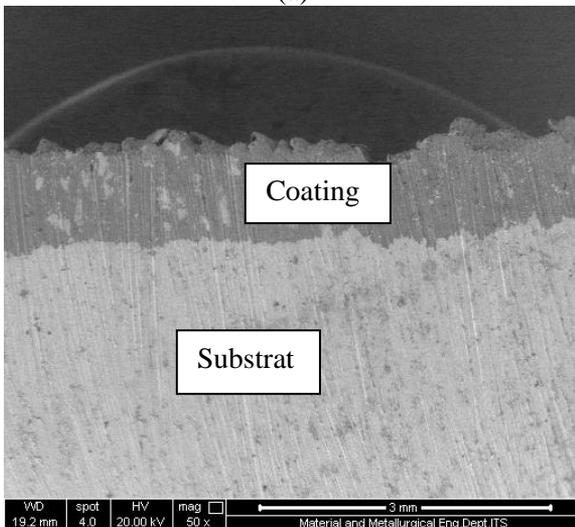


(b)

Gambar 4. 8 Morfologi *Coating* pada sampel Jarak 100 mm (a) Permukaan dengan perbesaran 100x (b) *Cross-section* dengan perbesaran 50x

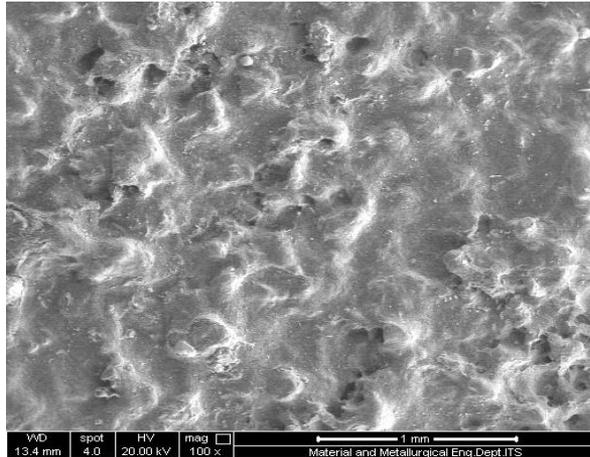


(a)

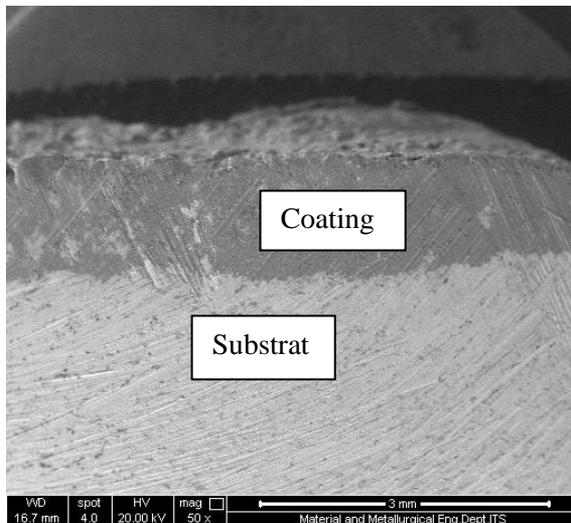


(b)

Gambar 4. 9 Morfologi *Coating* pada sampel Jarak 200 mm (a) Permukaan dengan perbesaran 100x (b) *Cross-section* dengan perbesaran 50x



(a)



(b)

Gambar 4. 10 Morfologi *Coating* pada sampel Jarak 300 mm (a) Permukaan dengan perbesaran 100x (b) *Cross-section* dengan perbesaran 50x



4.1.7 Pengujian EDX

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah material *coating* sudah menutupi semua permukaan spesimen atau tidak. Hasil dari pengujian ini adalah persentase unsur yang ada di permukaan.

Hasil pencitraan uji EDX dapat dilihat pada gambar 4.11 dan persentase unsur pada gambar 4.12.



Gambar 4.11 Pencitraan SEM perbesaran 500x Jarak *Nozzle* 100 mm



	Weight percentage	Certainty
Al	56.6 %	1.00
O	29.4 %	0.99
Si	10.4 %	0.99
C	3.6 %	0.98

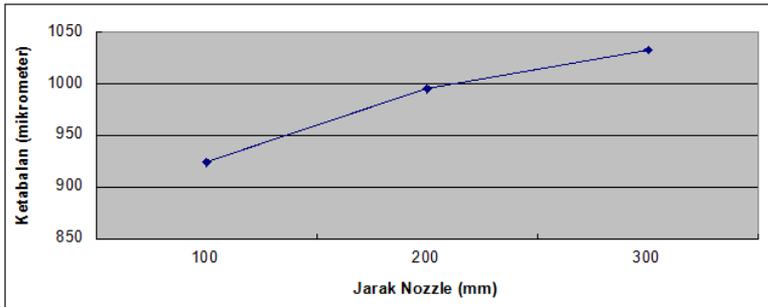
Gambar 4.12 Persentase Unsur Uji EDX Jarak *Nozzle* 100 mm

Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa persentase unsur paling besar adalah aluminium yang merupakan unsur utama bahan pelapis. Dari uji EDX pula didapatkan tidak adanya unsur Fe yang berarti semua permukaan spesimen telah tertutupi oleh material *coating*.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengujian Ketebalan

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak tembakan maka ketebalan *coating* juga akan semakin besar. Hal ini disebabkan oleh semakin jauh jarak tembakan maka logam *coating* akan terdeposisi secara homogen di permukaan substrat. Semakin dekat jarak tembakan maka logam *coating* cenderung menyebar dan tidak terdeposisi secara sempurna di permukaan substrat. Hal ini dapat disimpulkan pada pengamatan morfologi *coating*. Semakin dekat jarak tembakan saat proses pelapisan maka permukaan cenderung kompak dan *rigid*. Semakin jauh jarak tembakan maka struktur morfologi tidak lebih kompak. Grafik ketebalan terhadap variabel ditunjukkan oleh gambar 4.13.

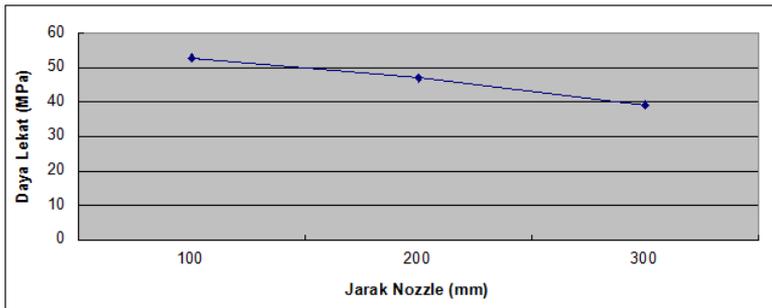


Gambar 4. 13 Pengaruh Jarak *Nozzle* terhadap Ketebalan

Dari gambar 4.13 dapat dilihat bahwa terdapat kenaikan ketebalan lapisan *coating* yang cukup signifikan. Semakin jauh jarak tembakan maka ketebalan lapisan *coating* juga akan semakin besar.

4.2.2 Pengujian Daya Lekat

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak tembakan, maka nilai daya lekat *coating* terhadap substrat semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh semakin jauh jarak tembakan saat proses pelapisan maka tebal lapisan juga menjadi semakin tebal sehingga daya lekat *coating* terhadap substrat semakin rendah. Grafik variabel terhadap nilai daya lekat dapat dilihat pada gambar 4.14

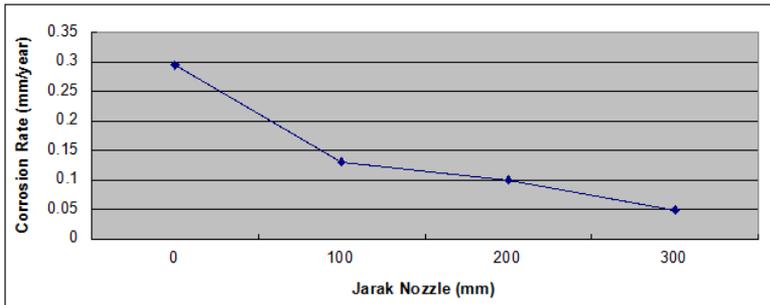


Gambar 4. 14 Pengaruh Jarak *Nozzle* terhadap Daya Lekat

Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa semakin jauh jarak tembakan maka nilai daya lekatnya akan semakin rendah. Hal ini sebanding dengan nilai ketebalan yang ada. Semakin tebal nilai ketebalan suatu lapisan *coating* maka nilai tegangan sisa juga akan semakin besar sehingga menurunkan kekuatan adhesinya (Antunes, 2013)

4.2.3 Pengujian Ketahanan Korosi

Dari tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai *corrosion rate* paling rendah terdapat pada variabel jarak tembakan 300 mm yang memiliki nilai *corrosion rate* sebesar 0,049397 mm/year, sedangkan nilai *corrosion rate* paling rendah terdapat pada variabel jarak tembakan 100 mm dengan nilai *corrosion rate* sebesar 0,13109 mm/year. Grafik variabel terhadap nilai *corrosion rate* ditunjukkan oleh gambar 4.15

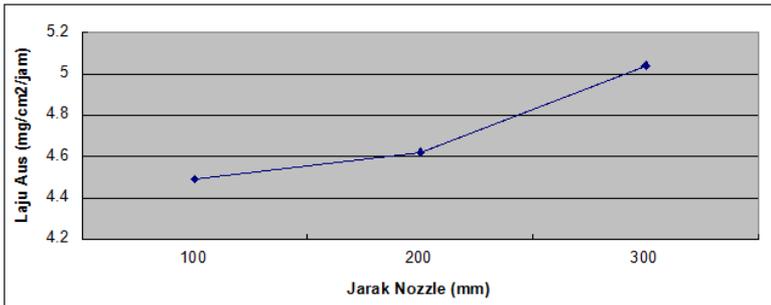


Gambar 4. 15 Pengaruh Jarak Nozzle terhadap *Corrosion Rate*

Tren yang ditunjukkan pada gambar 4.15 yaitu semakin jauh jarak tembakan maka akan menurunkan nilai *corrosion rate*-nya. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan ketebalan pada setiap variabel. Semakin jauh jarak tembakan maka ketebalan lapisan *coating* akan semakin tebal. Dengan bertambahnya tebal lapisan *coating* ini maka akan semakin melindungi substrat berupa baja karena lapisan *coating* aluminium mempunyai lapisan pasif Al_2O_3 yang akan melindungi substrat.

4.2.4 Pengujian Ketahanan Abrasif

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai laju aus paling rendah terdapat pada jarak tembakan 100 mm dengan nilai $4.49 \text{ mg/cm}^2/\text{jam}$ dan nilai uji aus paling tinggi pada jarak tembakan 300 mm dengan nilai $5.04 \text{ mg/cm}^2/\text{jam}$. Semakin tinggi nilai laju aus maka ketahanan aus dari material tersebut semakin rendah dikarenakan makin banyaknya daerah yang terdegradasi. Grafik jarak nozzle vs laju aus dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Pengaruh Jarak *Nozzle* terhadap Laju Aus

Pada gambar 4.16 dapat dilihat bahwa terdapat peningkatan nilai laju aus yang signifikan antara variabel 100 mm ke variabel 200 mm dan variabel 200 mm ke variabel 300 mm. Hal ini disebabkan oleh semakin jauh jarak tembakan maka ketebalan akan semakin tinggi dan menurunkan nilai daya lekatnya. Penurunan nilai daya lekat ini mempengaruhi ketahanan aus suatu material. Semakin rendah nilai daya lekat suatu material maka akan menurunkan juga ketahanan aus atau memperbesar nilai laju ausnya.

4.2.5 Pengujian Morfologi Coating

Hasil pengujian morfologi dengan menggunakan SEM, dapat dilihat pada Gambar 4.8a bahwa permukaan *coating* dengan jarak tembakan 100 mm memiliki struktur yang lebih kompak dan *rigid*. Hal ini dapat dilihat bahwa sangat minimnya pori pada permukaan lapisan *coating*. Pada Gambar 4.8b dapat dilihat bahwa lapisan *coating* menempel dengan baik pada permukaan substrat ditunjukkan dengan tidak adanya celah atau pori antara substrat dengan lapisan *coating*.

Pada gambar 4.9a dapat dilihat bahwa struktur permukaan lapisan *coating* sedikit tidak lebih kompak dibandingkan dengan struktur permukaan pada gambar 4.8a dan tidak beraturan. Pada gambar 4.9b dapat dilihat lapisan *coating* menempel dengan sempurna pada permukaan substrat.



Pada gambar 4.10a dapat dilihat bahwa ketebalan lapisan *coating* pada jarak *nozzle* 300 mm tidak merata. Ini dapat disimpulkan dari pencitraan SEM dengan warna yang kontras antara yang satu dengan yang lainnya. Pada gambar 4.10b terlihat bahwa ikatan mekanik antara material *coating* dengan permukaan substrat terikat dengan baik dan permukaan substrat kasar sebagai akibat dari proses preparasi spesimen *sand blasting*.

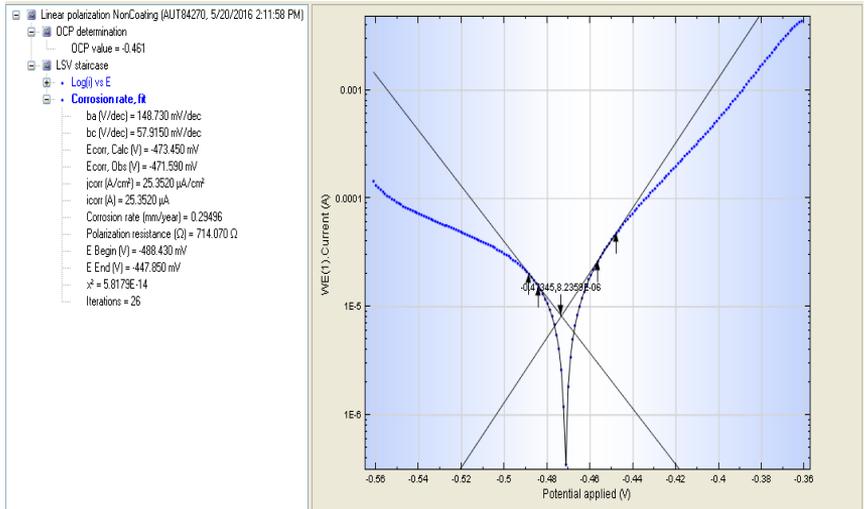
4.2.6 Pengujian EDX

Pada gambar 4.12 dapat dilihat persentase unsur pada morfologi *coating*. Unsur yang paling banyak adalah aluminium dengan persentase sebesar 56.6%. Dari uji EDX ini pula terlihat bahwa tidak ada unsur Fe yang muncul menandakan bahwa semua permukaan spesimen tertutup oleh material *coating*. Dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa material *coating* menempel dengan baik dan proses pelapisan berlangsung dengan baik.

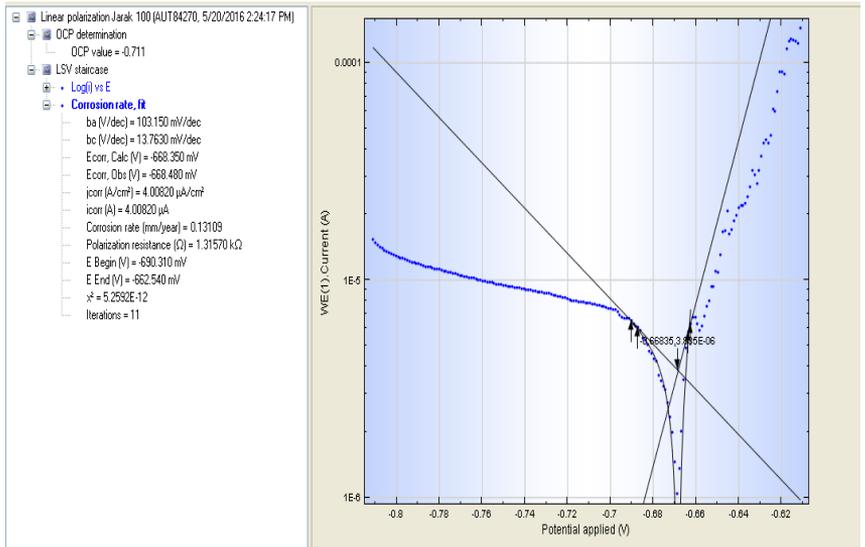
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa material yang memiliki ketahanan korosi dan ketahanan abrasi paling baik adalah material dengan jarak *nozzle* 200 mm karena memiliki nilai *corrosion rate* yang rendah dan ketahanan abrasi yang tinggi sehingga bisa digunakan pada lingkungan air laut.

LAMPIRAN

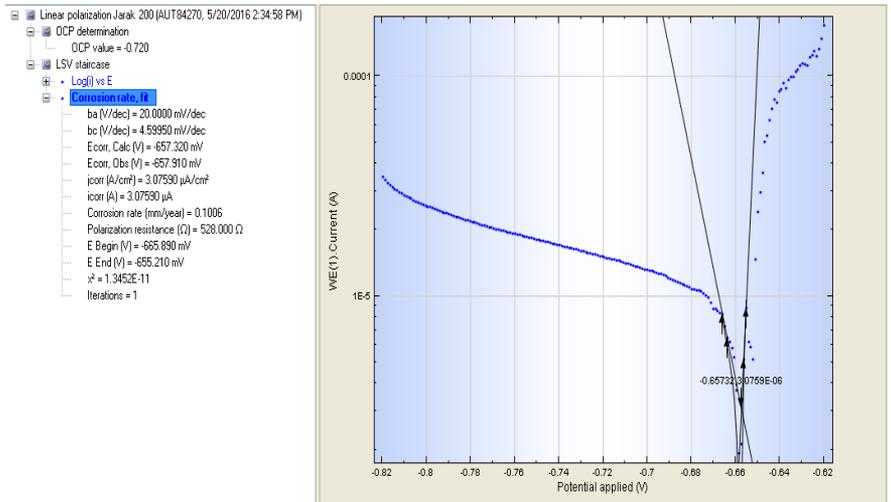
Lampiran Kurva Nova Uji Polarisasi TAFEL



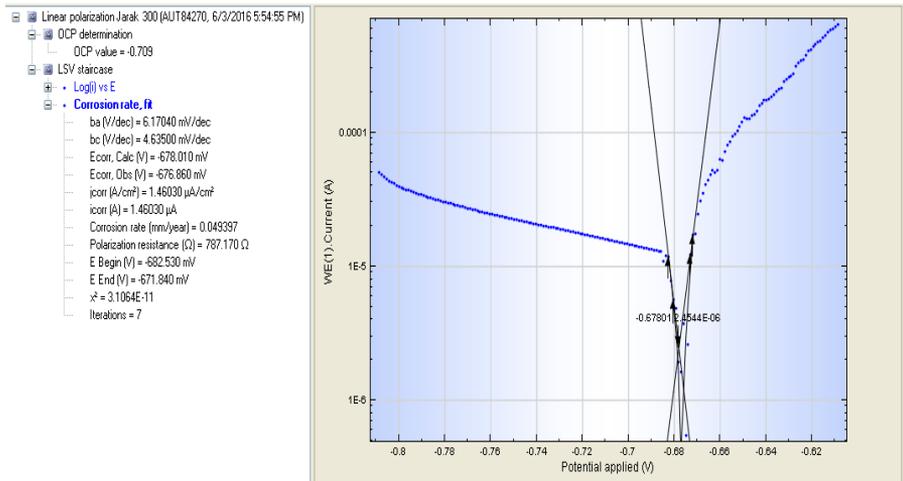
Gambar 1 Kurva Nova Spesimen Non Coating



Gambar 2 Kurva Nova Spesimen Jarak *Nozzle* 100 mm



Gambar 3 Kurva Nova Spesimen Jarak *Nozzle* 200 mm



Gambar 4 Kurva Nova Spesimen Jarak *Nozzle* 300 mm

Dokumentasi proses pelapisan dengan metode *thermal spray aluminium* :



Dokumentasi pengujian ketebalan dengan DFT (*Dry Film Thickness*)





Dokumentasi spesimen yang telah diberi *dolly* untuk pengujian
pull of test



Dokumentasi pengujian *pull of test*



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa data dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin jauh jarak *nozzle* maka nilai *corrosion rate* menurun karena memiliki ketebalan yang paling tebal. Nilai *corrosion rate* paling rendah terdapat pada jarak *nozzle* 300 mm dengan nilai *corrosion rate* sebesar 0.049397 mm/year.
2. Semakin jauh jarak *nozzle* maka ketahanan abrasif menurun dikarenakan menurunnya nilai daya lekat antara material *coating* dengan susbtrat. Nilai laju aus paling tinggi terdapat pada jarak *nozzle* 300 mm dengan nilai 5.04 mg/cm²/jam.

5.2 Saran

Disarankan untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Membuat variasi jarak *nozzle* lebih kecil lagi, misal 100,150,200,250 mm agar didapatkan data yang lebih bervariasi dan dapat mengetahui apakah dengan kecilnya range jarak *nozzle* berpengaruh besar terhadap sifat lapisan atau tidak.
2. Menggunakan *wire aluminium* dengan diameter yang lebih besar agar diperoleh ketebalan yang lebih maksimal.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- _____. American Petroleum Institute. 2005. **“API 5 L : Specification for Line Pipe”**. Washington D. C. : API Publishing Service.
- _____. American Society fo Testing and Materials. 2002. **“ASTM D4541 : Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Potable Adhesion Testers”**. Washington DC : Author.
- ASCOATINDO. 2014. **“Coating Inspector Muda”**. Bandung : Corrosion Care Indonesia.
- Bayliss, D. A. and Deacon. 2009. **“Steelwork Corrosion Control”**. London : Spon Press.
- B.Q. Wang, M. W. Setz. 2001. **Comparison in erosion behavior or iron-base coating sprayed by three different arc-spray processes**, Journal of wear. USA.
- Egtvedt, Solveig., 2011, **Thermally Sprayed Aluminium (TSA) with Cathodic Protection as Corrosion Protection for Steel in Natural Seawater**, Trondheim : Norwegian University of Science and Technology
- Holmberg, K., dan Matthews A. 2009. **Coatings Tribology 2nd Edition Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering**. London : Elsevier Applied Science
- Nisancioglu, K.,1994, **Corrosion basics and engineering - Lecture Notes for the Course 535233 Korrosjonslaere.**, Trondheim: Norges Tekniske Hogskole, Institutt for Teknisk Elektrokjemi.

- Setiawan, Sugiono., Setiyorini, Yuli.,2013,. **Pengaruh Variasi Sudut Nozzle dan Jarak Nozzle pada Arc Spray Coating terhadap Ketahanan Abrasif Lapisan 13% Chrome Steel**, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Schweitzer, Philip., 2006, **Paint and Coatings : Applications and Corrosion Resistance**, United States of America : Taylor & Francis Group
- Sulistijono, 1999, **Diktat Kuliah Korosi**, Surabaya : Fakultas Teknologi Industri ITS.
- Trethewey, Kenneth R., **Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan, 1991**, Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama
- Vincent, Louis D. 2010, **The Protective Coating User's Handbook**, Houston : NACE International

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ghafar Fahrizal Aziz, lahir di Bontang 3 Juli 1994. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Ir. Sukardi, MM dan Sri Silahartati. Penulis melakukan studi formal bermula di SD 1 Yayasan Pupuk Kaltim, SMP Yayasan Pupuk Kaltim, SMA Yayasan Pupuk Kaltim, dan sampai sekarang pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya pada tahun 2012.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Departemen Pengabdian Masyarakat HMMT FTI-ITS (2013-2014), Wakil 2 Kepala Departemen Pengabdian Masyarakat HMMT FTI-ITS (2014-2015). Dalam kepanitiaan penulis pernah menjadi relawan HMMT Mengajar (2013-2014). Penulis juga pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Fisika Dasar II. Penulis melakukan kerja praktek di PT. Pupuk Kaltim Bontang, Kalimantan Timur. Penulis sebelum mengambil tugas akhir juga sudah lulus sertifikasi Liquid Penetrant Testing Level I dan Magnetic Particle Testing Level I. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambi Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Penulis memiliki email dan nomor handphone yang dapat dihubungi, simpleghafar@gmail.com, 085332751670.