



TUGAS AKHIR - TL 141584

**PENGARUH KOMPOSISI PELARUT DAN
KETEBALAN CAT EPOKSI TERHADAP
DAYA LEKAT DAN TINGKAT PELEPUHAN
(*BLISTERING*) PADA LINGKUNGAN NaCl
YANG DIAPLIKASIKAN PADA BAJA
KARBON**

MAULANA MUFTI MUHAMMAD
NRP 2711 100 121

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan ST.,M,Eng.
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST.,M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

THE EFFECT OF SOLVENT ADDITION AND THICKNESS COATING EPOXY ON ADHESION STRENGTH AND BLISTERING ON THE NaCl ENVIRONMENT IS APPLIED IN CARBON STEEL

MAULANA MUFTI MUHAMMAD
NRP 2711 100 121

Advisor

Dr. Agung Purniawan ST.,M,Eng.
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST.,M.Sc.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH KOMPOSISI PELARUT DAN
KETEBALAN CAT EPOKSI TERHADAP
DAYA LEKAT DAN TINGKAT PELEPUHAN
(BLISTERING) PADA LINGKUNGAN NaCl
YANG DIAPLIKASIKAN PADA BAJA
KARBON**

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 :

MAULANA MUFTI MUHAMMAD
NRP. 2711 100 121

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

Dr. Eng. Hosta Ardhyananta ST., M.Sc.....(Pembimbing II)





Pengaruh Komposisi Pelarut dan Ketebalan Cat Epoksi Terhadap Daya Lekat dan Tingkat Pelepuhan (*Blistering*) pada Lingkungan NaCl yang Diaplikasikan pada Baja Karbon

Nama Mahasiswa : Maulana Mufti Muhammad
NRP : 2711 100 121
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Dr. Agung Purniawan S.T., M.Eng.
Dr.Eng. Hosta Ardhyananta S.T., M.Sc.

Coating adalah salah satu perlindungan terhadap korosi dengan cara membentuk penghalang antara substrat dengan lingkungan. Dan biasanya diaplikasikan pada *pipeline*. Dalam penelitian ini, untuk memaksimalkan fungsi pelapis dengan tujuan memberikan penghalang antara material dengan lingkungan, digunakan ketebalan *coating* (50, 100, 150, 200, dan 250 mikron). Sedangkan untuk mempermudah proses aplikasi dilakukan penambahan pelarut 0%, 10%, dan 20%. Cat primer yang digunakan adalah epoksi untuk melapisi material substrat ASTM A36 *Grade B* pada lingkungan air laut. Proses aplikasi menggunakan metode *conventional spray*. Morfologi dari hasil *coating* diamati dengan SEM. Untuk mengetahui kualitas dari *coating*, dilakukan pengujian daya lekat, tingkat blistering, dan ketahanan terhadap pelebaran kerusakan karena korosi serta besar perambatan uap air melalui cat. Dari pengujian dan analisa didapatkan bahwa semakin tebal lapisan semakin baik peran cat sebagai penghalang antara substrat dengan lingkungan. Namun daya lekat dari cat menurun dengan bertambahnya ketebalan. Penambahan komposisi pelarut menaikkan laju transmisi uap air, sehingga fungsi penghalang dari coating menurun.

Kata Kunci : *Coating*, Daya Lekat, *Blistering*, Pelarut, *Water Vapor Transmission Rate*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

The Effect of Solvent Addition and Thickness Coating Epoxy on Adhesion Strength and Blistering on the NaCl Environment is Applied in Carbon Steel

Student Name : Maulana Mufti Muhammad
NRP : 2711 100 121
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Agung Purniawan S.T., M.Eng.
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta S.T., M.Sc.

Main function of coating is providing barrier protection between substrate and environment. And its commonly used to protect pipeline. In this research, to evaluate a function of barrier, a different the thickness coating (50, 100, 150, 200, and 250 micron) were used. In addition, to make easier during application process, solvent 0, 10, and 20% were added to paint. Epoxy is used as premier paint to cover substrate material ASTM A36 Grade B in NaCl 3,5% Environment. Conventional spray was used in paint application. Morphology of coating was investigated by SEM. To evaluate the function of the coating, adhesion strength, blistering, and water vapor transmission rate tests were applied. The result indicate that the blister size increase with the increasing thickness coating while the adhesion strength decrease with the increase thickness coating. Additional solvent in paint increase the water vapor transmission rate, consequently the function of coating decrease.

Keyword : Coating, Adhesion, Blistering, Solvent, Water Vapor Transmission Rate

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang maha pengasih lagi penyayang, shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasullullah SAW yang selalu menjadi suri tauladan kita kepada kebenaran dan kebaikan. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan guna memperoleh gelar Kesarjanaan Teknik sesuai dengan kurikulum di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS.

Terima Kasih penulis ucapkan kepada pihak – pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan Tugas Akhir ini:

1. Bapak Dr. Agung Purniawan ST.,M,Eng. dan Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku dosen Pembimbing yang banyak memberikan saran, bimbingan, arahan dan masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Segenap dosen Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama proses perkuliahan.
3. Seluruh Staf dan Karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang telah banyak membantu.
4. Bapak Larasanto serta rekan-rekan CV. Cipta Agung yang membantu proses penelitian.
5. Bapak Luhur Prandika yang membantu proses pengadaan spesimen untuk penelitian ini.

Masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xxi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi pada Pipa <i>Pipeline</i> Baja Karbon di Lingkungan Air Laut.....	5
2.1.1 Mekanisme Korosi pada <i>Pipeline</i> di Lingkungan Air Laut.....	7
2.1.2 <i>Protective Coating</i> pada <i>Pipeline</i>	9
2.2 Metode Perlindungan Korosi.....	10
2.2.1 Proteksi Katodik.....	10
2.2.2 Lapisan Pelindung (<i>Coating</i>).....	10
2.2.3 Pemilihan Material.....	11
2.2.4 Inhibitor.....	11
2.2.5 Proteksi <i>Coating</i> pada Pipa Terhadap Korosi	11
2.3 Organik <i>Coating</i>	12
2.3.1 Komposisi Organik <i>Coating</i>	12
2.3.2 Binder.....	14
2.3.3 <i>Solvent</i>	15

2.3.4 Pigmen	23
2.3.5 Aditif.....	25
2.3.6 Formulasi	25
2.3.7 Mekanisme Pembentukan Film	26
2.4 Mekanisme Pengendalian Korosi Menggunakan <i>Protective Coating</i>	27
2.4.1 Lapisan Penghalang (<i>Barrier Coating</i>).....	27
2.4.2 Lapisan Inhibisi (<i>Inhibitive Coating</i>)	29
2.4.3 Proteksi Katodik (<i>Sacrificial</i>).....	29
2.5 Permeabilitas	30
2.6 Permeasi dan Osmosis	30
2.7 <i>Material Coating</i>	31
2.7.1 <i>Epoxy</i>	31
2.7.2 <i>Epoxy</i> sebagai <i>Material Coating</i>	33
2.8 Kerusakan pada Lapisan Cat	34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2 Metode Penelitian	40
3.3 Alat Penelitian	40
3.4 Bahan Penelitian	45
3.5 Prosedur Penelitian	49
3.5.1 Preparasi Substrat.....	49
3.5.2 Preparasi Elektrolit.....	51
3.5.3 Pengujian <i>Immers</i>	51
3.5.4 Pengujian Sembur Garam.....	52
3.5.5 Pengujian <i>Water Vapor Transmission Rate</i>	55
3.5.6 Pengujian SEM.....	56
3.6 Rancangan Pengambilan Data Penelitian	57

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Daya Lekat.....	61
4.2 Pengujian Daya Lekat <i>Immersion</i> 3,5% NaCl selama 14 Hari	63
4.3 Pengujian Morfologi.....	66

4.4 Pengujian <i>Blistering</i> dengan Metode <i>Immersion</i> NaCl 3,5%	68
4.5 Pengujian Sembur Garam NaCl 3,5%	72
4.6 Pengujian <i>Water Vapor Transmission Rate</i>	76

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82

DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN A	87
LAMPIRAN B	88
LAMPIRAN C	90
LAMPIRAN D	93
LAMPIRAN E.....	100
LAMPIRAN F.....	103
LAMPIRAN G	106
LAMPIRAN H	110
LAMPIRAN I.....	112
LAMPIRAN J	116

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sub Golongan Solvent Hidrokarbon	17
Tabel 2.2 Sub Golongan <i>Solvent Oksigenated</i>	20
Tabel 3.1 Komposisi Kimia ASTM A 36 Grade B	46
Tabel 3.2 Sifat Mekanik ASTM A 36 Grade B.....	47
Tabel 3.3 Perancangan Peneitian.....	47
Tabel 3.4 Komposisi Cat Epoksi Komponen A (Peguard Primer)	48
Tabel 3.5 Komposisi Cat Epoksi Komponen B (Peguard Primer)	48
Tabel 3.6 Komposisi Pelarut (Thinner Jotun No.17)	49
Tabel 3.7 Rating Penambahan Pelebaran (ASTM D-1654)	51
Tabel 3.8 Tabel Pengujian <i>Water Vapor Transmission Rate</i>	55
Tabel 3.9 Tabel Pengujian Kekuatan Daya Lekat	60
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Daya Lekat setelah 14 hari masa <i>immersion</i> NaCl 3.5%	67
Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Visual Daya Lekat setelah 14 hari masa <i>Immersion</i> NaCl 3,5%	67
Tabel 4.3 Tingkat korosi uji sembur kabut garam untuk metode <i>scratch</i>	69
Tabel 4.4 Data Pelebaran Sampel Pengujian Sembur Kabut Garam Metode <i>Scratch</i> beserta <i>Rating</i>	73
Tabel B.1 Hasil Perhitungan WFT (<i>Wet Film Thickness</i>).....	87
Tabel C.1 Tabel Hasil Pengujian DFT (<i>Dry Film Thickness</i>) Sampel Uji Daya Lekat.....	88
Tabel C.2 Hasil Perhitungan DFT (<i>Dry Film Thickness</i>) Sampel Uji Salt Spray 3,5% NaCl	90
Tabel C.3 Hasil Perhitungan DFT (<i>Dry Film Thickness</i>) Sampel Uji <i>Immersion</i> 3,5% NaCl	90
Tabel D.1 Hasil Pengujian Adhesion	96
Tabel E.1 Hasil Pengujian Salt Spray	98
Tabel F.1 Hasil Pengujian <i>Permeability Test Coating</i> dengan Penambahan Pelarut 0%	101

Tabel F.2 Hasil Pengujian <i>Permeability Test Coating</i> dengan Penambahan Pelarut 10%	101
Tabel F.3 Hasil Pengujian <i>Permeability Test Coating</i> dengan Penambahan Pelarut 20%	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Korosi.....	6
Gambar 2.2 Tipe Laju Korosi pada Baja di Lingkungan Laut ..	7
Gambar 2.3 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi	8
Gambar 2.4 Komposisi Penyusun <i>Coating</i>	12
Gambar 2.5 Hasil SEM saat terjadinya <i>crack</i> dan pori pada <i>Coating</i> Organik	16
Gambar 2.6 Ilustrasi Bentuk Pigmen terhadap Laju <i>Moisture</i> ..	18
Gambar 2.7 Mekanisme Pembentukan Film berdasarkan Curing Agen.....	22
Gambar 2.8 Mekanisme Pembentukan <i>Blistering</i>	24
Gambar 2.9 Cacat pada <i>Coating</i>	25
Gambar 2.10 Kerusakan akibat <i>Blistering</i>	27
Gambar 2.11 Rantai Ikatan Kimia dari Epoksi	31
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3.2 Neraca <i>Mettler Toledo</i>	40
Gambar 3.3 Mesin Pengaduk Cat.....	41
Gambar 3.4 Alat <i>Sand Blasting</i>	41
Gambar 3.5 Alat <i>Sling Psychrometer</i> dan <i>Dew Calculator</i>	42
Gambar 3.6 <i>Conventional Air Spray</i>	42
Gambar 3.7 <i>Flashlight Magnifier</i>	42
Gambar 3.8 <i>Roughness Meter</i>	43
Gambar 3.9 Spesimen yang Digunakan Sebelum dan Sesudah Dilakukan <i>Blasting</i> dan Dibandingkan dengan Standar	43
Gambar 3.10 Alat Ukur WFT.....	43
Gambar 3.11 Alat Ukur DFT	43
Gambar 3.12 Peralatan Uji Kekuatan Adhesi.....	44
Gambar 3.13 Mesin Uji SEM.....	45
Gambar 3.14 Contoh Sampel Pengujian Sembur Garam dan Penamaan Sampel	46
Gambar 3.15 Proses <i>Immersion Unscratch</i> selama 14 hari.....	51

Gambar 3.16 Tingkatan <i>Blistering</i> yang dapat terjadi pada Permukaan dengan Ukuran (a) No.2, (b) No.4, (c) No.6, dan (d) No. 8	51
Gambar 3.17 Proses Pengujian Sembur Garam.....	53
Gambar 3.18 Proses Pengujian <i>Permeability</i>	54
Gambar 4.1 Grafik <i>Surface</i> Daya Lekat Terhadap Variasi Ketebalan dan Komposisi Pelarut	64
Gambar 4.2 Foto Hasil Visualisasi Pengujian Daya Lekat Sampel A20150 1.....	65
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Daya Lekat Menggunakan Pull Off Test pada Ketebaan 100mikron Setelah dilakukan Immers Selama 14 hari (a)20%, (b)10%, dan (c)0%	67
Gambar 4.4 Hasil Pengujian SEM Komposisi Penambahan Pelarut 0% dengan perbesaran 1000x dan 4000x .	69
Gambar 4.5 Hasil Pengujian SEM Komposisi Penambahan Pelarut 10% dengan perbesaran 1000x dan 4000x	69
Gambar 4.6 Hasil Pengujian SEM Komposisi Penambahan Pelarut 20% dengan perbesaran 1000x dan 4000x	69
Gambar 4.7 Hasil Pengamatan Tingkat <i>Blistering</i> (a)0, (b)1, (c)20% pada ketebalan 50 mikron	72
Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Tingkat <i>Blistering</i> (a)0, (b)1, (c)20% pada ketebalan 100 mikron	72
Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Tingkat <i>Blistering</i> (a)0, (b)1, (c)20% pada ketebalan 150 mikron	72
Gambar 4.10 Hasil Pengamatan Tingkat <i>Blistering</i> (a)0, (b)1, (c)20% pada ketebalan 200 mikron	73
Gambar 4.11 Hasil Pengamatan Tingkat <i>Blistering</i> (a)0, (b)1, (c)20% pada ketebalan 250 mikron.....	73
Gambar 4.12 Grafik Pelebaran Gores setelah dilakukan Uji Sembur Garam NaCl 3,5%	76
Gambar 4.13 Hasil Pengujian Sembur Garam NaCl 3,5% selama (a) 24 jam (b) 48 jam	77

Gambar 4.14 Hasil Pengujian Sembur Garam NaCl 3,5% selama (a) 72 jam (b) 96 jam	77
Gambar 4.15 Pertambahan Berat Hasil Pengujian <i>Water Vapor Transmission Test</i> Setiap Sampel	77
Gambar 4.17 Laju Transmisi Uap Air (WVP) Setiap Sampel ..	77
Gambar A.1 Diagram Alir Proses Pencampuran Cat Epoksi dengan Penambahan Komposisi Pelarut	85
Gambar A.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Elektrolit NaCl 3,5%.....	85
Gambar D.1 Tampak Visual Spesimen Hasil Daya Lekat Ketebalan 50 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0%, (b) 10%, dan (c) 20%.....	91
Gambar D.2 Tampak Visual Spesimen Hasil Daya Lekat Ketebalan 100 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0%, (b) 10%, dan (c) 20%.....	92
Gambar D.3 Tampak Visual Spesimen Hasil Daya Lekat Ketebalan 150 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0%, (b) 10%, dan (c) 20%.....	93
Gambar D.4 Tampak Visual Spesimen Hasil Daya Lekat Ketebalan 200 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0%, (b) 10%, dan (c) 20%.....	94
Gambar D.5 Tampak Visual Spesimen Hasil Daya Lekat Ketebalan 250 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0%, (b) 10%, dan (c) 20%.....	95
Gambar I.1 Diagram Surface Regresi Berganda pada Data Pengujian Daya Lekat	111
Gambar I.2 Diagram Surface Regresi Berganda pada Data Pengujian Sembur Garam.....	113
Gambar J.1 Hasil Eksperimen Data Daya Lekat menggunakan <i>Software minitab 16</i>	118
Gambar J.2 Grafik <i>Main Effect Plot</i> Data Daya Lekat menggunakan <i>Software minitab 16</i>	119
Gambar J.3 Grafik <i>Interaction Plot</i> Data Daya Lekat menggunakan <i>Software minitab 16</i>	119

Gambar J.4 Grafik <i>Main Effect Plot</i> Data Pengujian Sembur Garam menggunakan <i>Software minitab 16</i>	121
Gambar J.5 Grafik <i>Interaction Plot</i> Data Pengujian Sembur Garam menggunakan <i>Software minitab 16</i>	121



BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Di industri minyak bumi dan gas alam saat ini, pipa baja karbon adalah jenis pipa yang paling banyak digunakan untuk sistem pipeline. Pipa baja karbon memiliki banyak kelebihan dari jenis-jenis pipa yang lain seperti *Fiberglass Reinforced Plastic (FRP)*, *Stainless Steel (SS)*, *incoloy*, dan lainnya. Kelebihan pipa baja karbon antara lain adalah dari segi biaya yang relatif tidak terlalu mahal, kemudahan instalasi di lapangan dan sifat mekaniknya yang dapat diandalkan dalam banyak area atau sistem di lapangan. Masalah yang kerap timbul dalam penggunaan pipa baja karbon adalah korosi. (Rafferty, 1989)

Korosi merupakan masalah yang kerap timbul dalam penggunaan *pipeline* baja karbon. Selama ini, pengendalian terhadap korosi pada pipa baja karbon telah dilakukan melalui berbagai metode. Metode *coating* membuat permukaan logam menjadi terpisah dari lingkungan korosif. Biasanya metode ini diaplikasikan dalam bentuk lapisan organik (*organic coating*). Metode ini merupakan metode perlindungan yang paling banyak digunakan dikarenakan metode ini mudah untuk dilakukan (Keijman, 1999).

Coating organik memberikan perlindungan dengan cara menjadi penghalang. Namun, semua *coating* organik *permeabel* terhadap air dan oksigen. Tingkat transmisi rata-rata air melalui lapisan cat adalah 10-100 kali lebih besar dari konsumsi pada permukaan yang *impermeabel*. Di kondisi normal *coating* organik menghabiskan setengah masanya dalam kondisi kelembaban yang tinggi.



Tahap pertama terjadinya proses korosi pada *coating* ditandai dengan adanya karat dan *blistering* pada *coating* organik. Untuk mengidentifikasi di awal kemampuan dari sifat penghalang *coating* dapat dilakukan dengan menentukan tingkatan *blistering* dan *rusting* yang terjadi sesuai dengan standar. Pada tahap selanjutnya ditandai dengan adanya *disboundment* dari cat dengan substrat.

Untuk membuat peran dari penghalang yang efektif material substrat harus terisolasi dengan baik. Sifat penghalang yang baik dipengaruhi oleh ketebalan dan komposisi kimia dari *coating*.

Komposisi kimia dari *coating* merupakan sebuah sistem campuran yang kompleks, ada padatan (*solute*) yang terlarut atau terdispersi dalam pelarut cair (*solvent*), ada juga cairan (*solvent active*) yang terlarut dalam cairan lain (*diluent*). *solvent* adalah cairan (biasanya mudah menguap) yang berperan melarutkan atau mendispersi komponen-komponen pembentuk film (resin, *pigment* dan/atau *additive*) yang akan menguap terbuang ke lingkungan selama proses pengeringan. Pada saat pembuatan cat, *solvent* memberi kontribusi sedemikian rupa sehingga campuran mempunyai kekentalan yang pas untuk proses pengadukan, pencampuran, penggilingan dan lain-lain. Komposisi *solvent* yang tepat juga memberi pengaruh optimal pula pada mekanisme penguapan dari *solvent-solvent* yang ada, sehingga akan membentuk film yang maksimal karakteristiknya, baik tekstur permukaannya, sifat kilapnya maupun kecepatan keringnya (Philip, 2006).

Berdasarkan hal itu, dalam penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh variasi ketebalan dan penambahan pelarut berbahan minyak menggunakan epoksi terhadap nilai permeabilitas dan kualitas *coating* pada baja karbon di lingkungan korosif yaitu NaCl 3,5%.



I.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi pelarut dan ketebalan terhadap daya lekat cat epoksi?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi pelarut dan ketebalan terhadap tingkat *blistering* pada lingkungan NaCl 3,5%?
3. Bagaimana pengaruh variasi komposisi pelarut terhadap laju transmisi uap air dan morfologi dari cat epoksi?

I.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Komposisi substrat yang digunakan adalah dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Material coating dianggap tercampur merata.
3. Ketebalan material *coating* dengan jumlah penambahan pelarut yang sama dianggap sama setiap layernya (satu sapuan *spray*)
4. Tingkat kekasaran dan kebersihan substrat dianggap sama.
5. Kecepatan ketika *mixing material coating* epoksi dengan pelarut dan tanpa pelarut dianggap sama



1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

4. Menganalisa pengaruh variasi komposisi pelarut dan ketebalan terhadap daya lekat cat epoksi
5. Menganalisa pengaruh variasi komposisi pelarut dan ketebalan terhadap tingkat *blistering* pada lingkungan NaCl 3,5%
6. Menganalisa pengaruh variasi komposisi pelarut terhadap laju transmisi uap air dan morfologi dari cat epoksi

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan referensi dalam pengendalian korosi menggunakan *coating* organik pada *pipeline oil* dan *gas*.
2. Dapat dijadikan sebagai referensi metode pengaplikasian ketebalan *coating* terutama cat epoksi dengan perbedaan penambahan pelarut.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dan komprehensif dengan hasil penelitian – penelitian sebelumnya terkait *coating* organik.

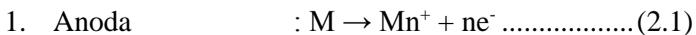


BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi pada Pipa Pipeline Baja Karbon di Lingkungan Air Laut

Penggunaan material pipa pada *pipeline* di lapangan minyak bumi dan gas alam didominasi oleh pipa baja karbon. Pipa baja karbon memiliki banyak kelebihan, diantaranya adalah harganya yang ekonomis, mudah diaplikasi di lapangan dan sifat mekaniknya yang dapat diandalkan di lapangan. Adapun pengoperasian pipa pada *pipeline* di lapangan minyak bumi dan gas alam membutuhkan proteksi pada permukaan eksternal pipa, karena pipa pada *pipeline* kerap terekspos lingkungan dan cenderung berinteraksi dengan lingkungan. Pada akhirnya, akan timbul korosi pada pipa *pipeline*. (Rafferty, 1989)

Mekanisme terjadinya korosi yang terjadi pada logam disebabkan adanya reaksi yang melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Reaksi katoda dan anoda yang terjadi dalam suatu proses korosi adalah sebagai berikut (Jones 1992)



2. Katoda :
- Evolusi hidrogen (asam) : $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2 \dots\dots\dots(2.2)$
 - Reduksi air (netral/basa) : $H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^- \dots\dots\dots(2.3)$
 - Reduksi oksigen (asam) : $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O \dots\dots\dots(2.4)$
 - Reduksi oksigen (netral/basa) : $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- \dots\dots\dots(2.5)$
 - Reduksi ion logam : $M^{3+} + e^- \rightarrow M^{2+} \dots\dots\dots(2.6)$

3. Elektrolit

Suatu reaksi reduksi dan oksidasi dapat terjadi apabila antara anoda dan katoda terdapat elektrolit. Elektrolit berfungsi



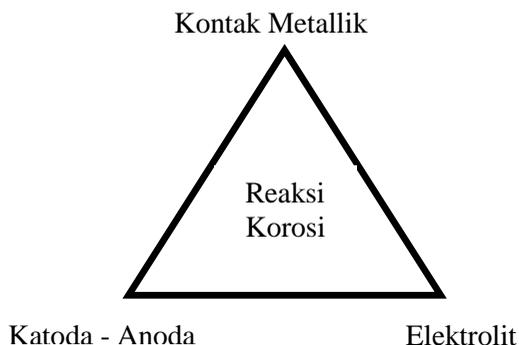
menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *electroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda antara lain lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah dan minyak.

4. Kontak Metallik (*Metallic Pathway*)

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

Lingkungan dapat berupa asam, basa, oksigen dari udara, oksigen didalam air atau zat kimia lain. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap korosi antara lain:

1. Adanya O_2
2. Elektrolit
3. Kelembaban udara
4. Letak logam dalam deret potensial reduksi
5. Lapisan pada permukaan logam
6. Zat terlarut pembentuk asam (CO_2 , SO_2)

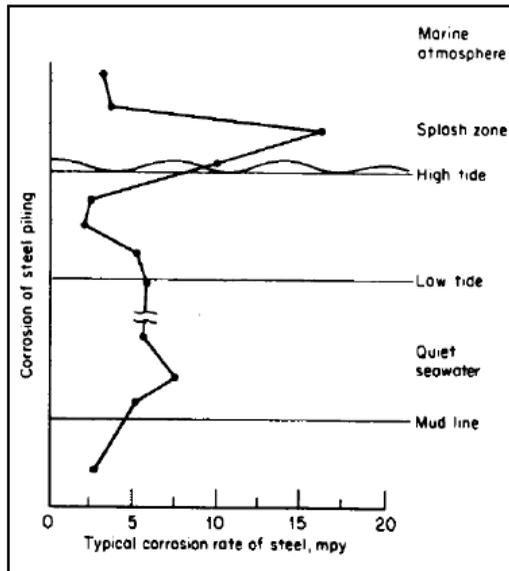


Gambar 2.1 Proses Korosi (Jones, 1992)



2.1.1 Mekanisme Korosi pada *Pipeline* di Lingkungan Air Laut

Korosi pada baja karbon dalam lingkungan air laut dipengaruhi oleh keberadaan oksigen yang menuju permukaan logam. Laju alir oksigen disebabkan oleh adanya kecepatan aliran air yang menuju ke permukaan logam. Hal itu dapat menimbulkan korosi pada baja karbon.



Gambar 2.2 Tipe Laju Korosi pada Baja di Lingkungan Air Laut (Perez, 2004)

Berdasarkan pada pengukuran distribusi korosi di Gambar 2.2, terdapat lima area pada lingkungan laut yakni *atmospheric corrosion*, *splash zone*, *tidal zone*, *continuously submerged*, dan *subsoil*. Korosi yang parah banyak terjadi pada daerah *splash zone* karena daerah tersebut merupakan daerah terjadinya proses *wet and dry* (Perez 2004).

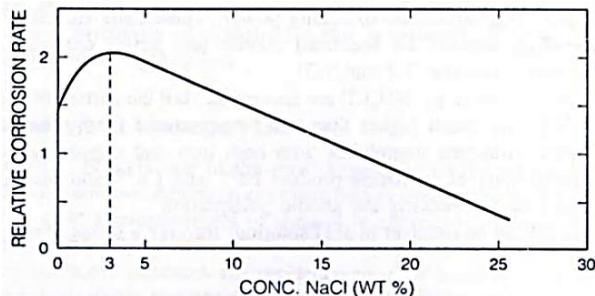
Apabila terdapat garam dalam suatu larutan elektrolit,



maka ion-ion pembentuknya akan terurai, naik berupa kation maupun anion. Ion-ion ini menyebabkan larutan garam dapat menghantarkan muatan listrik yang terdistribusi di dalam larutan tersebut, maka dari itu larutan garam ini akan menghasilkan nilai konduktivitas yang sebanding dengan konsentrasi garam yang terlarut di dalam larutan.

Kecepatan reaksi elektrokimia ini ditentukan oleh konduktivitas yang terdapat pada larutan elektrolit yang menghubungkan antara anoda dan katoda. Dengan konduktivitas yang tinggi, reaksi korosi akan berlangsung lebih cepat sehingga meningkatkan nilai laju korosi (Jones, 1992)

Jika nilai konsentrasi NaCl di dalam larutan yang teraerasi semakin besar, maka kelarutan oksigen dalam larutan tersebut akan menurun. Nilai konsentrasi NaCl pada angka 3 hingga 3.5 % merupakan kelarutan optimum di dalam larutan NaCl teraerasi. (Jones 1992)



Gambar 2.3 Grafik Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi (Jones, 1992)

Ditampilkan pada Gambar 2.3 bahwa laju korosi maksimum baja karbon berada pada konsentrasi NaCl sebesar 3% - 3.5%. Tingginya konsentrasi NaCl akan meningkatkan nilai konduktivitas, seperti yang dibahas sebelumnya maka laju korosi akan semakin tinggi. Akan tetapi, pada grafik dapat dilihat jika nilai konsentrasi NaCl melebihi angka 3.5%, akan



terjadi penurunan dari kelarutan agen pereduksi sehingga laju korosi akan berkurang. Hal ini disebabkan larutan NaCl mengalami kejenuhan dan akhirnya menimbulkan endapan yang tidak mampu bereaksi lagi. Hal ini berakibat pengurangan dari agen pereduksi di dalam larutan (Jones, 1992)

2.1.2 Protective coating pada Pipeline

Coating merupakan pelindung atau *shield* untuk pipa dari berbagai jenis elektrolit yang dapat membahayakan fungsi pipa tersebut. Tidak semua pipa dalam suatu sistem dalam *oil and gas service* menggunakan *coating* karena beberapa material pipa tersebut tidak bekerja dalam kondisi atau ancaman degradasi material yang berbahaya, misalnya korosi. Jenis *coating* yang diaplikasikan untuk pipa cukup banyak dan bervariasi. Aplikasi jenis *coating*nya pun bergantung pada permukaan pipa yang akan dilindungi. Pipa memiliki 2 permukaan (*surface*), yakni internal dan eksternal. Adapun sistem *coating* pada *pipeline* terbagi menjadi 2 macam berdasarkan jenis permukaannya (*surface*), yakni internal dan eksternal *surface*. Penggunaan *coating* untuk eksternal *surface* dikondisikan dari penempatan pipa suatu sistem. Adapun beberapa kondisi tertentu yang menggunakan *coating* eksternal *surface* adalah:

1. *Buried Steel Facilities*: Korosi pada pipa yang dipasang di dalam tanah.
2. *Atmospheric Corrosion*: Korosi yang terjadi karena pipa berada di lingkungan atmosferik.
3. *Tide* : Korosi yang terjadi karena pipa berada pada daerah air laut
4. *Other Materials*: Korosi yang terjadi karena pipa berkorosi yang terjadi karena pipa berada di



lingkungan yang sangat korosif, contohnya *splash zone*.

2.2 Metode Perlindungan Korosi

2.2.1 Proteksi Katodik

Pemberian arus searah (DC) dari sumber eksternal. Arus DC akan memberikan elektron untuk mencegah ionisasi logam menjadi elektron bebas yang menyebabkan logam tersebut mudah bereaksi (Roberge, 2000). Metode-metode proteksi katodik, antara lain adalah:

1. Anoda Korban (*sacrifice anode*)

Prinsip yang digunakan dalam metode ini adalah sistem galvanik, dimana logam yang akan dilindungi dihubungkan secara elektrik dengan logam yang bersifat lebih anodik (potensial standarnya lebih kecil) dan sesuai dengan deret galvanik. Dengan demikian logam yang akan dilindungi bersifat sebagai katoda dan logam lainnya akan menjadi anoda. Akibatnya, anoda korban akan terus-menerus terkorosi sehingga harus diganti secara berkala.

2. Arus Paksa (*Impressed Current*)

Metode arus paksa diaplikasikan dengan memberikan arus listrik searah dari sumber luar untuk melindungi struktur logam. Proses ini menggunakan penyearah yang disebut *rectifier*, dimana kutub negatif dihubungkan ke logam yang akan dilindungi, dan kutub positif dihubungkan ke anoda. Pada prinsipnya, metode ini dilakukan dengan memberikan suplai elektron kepada struktur yang akan diproteksi secara katodik agar tidak terjadi kebocoran elektron. Anoda yang digunakan biasanya adalah anoda *inert* yang stabil agar tidak mudah terkontaminasi oleh lingkungan.

2.2.2 Lapisan Pelindung (*Coating*)

Coating merupakan proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi, tentunya setelah melalui proses solidifikasi. Proses pelapisan ini akan mengurangi intensitas logam untuk mengalami kontak dengan



lingkungannya. Pelapisan yang paling umum digunakan adalah pelapisan menggunakan cat (Roberge, 2000). Coating dapat dibedakan berdasarkan bahan pelindungnya seperti polimer (organik dan inorganik), keramik, dan metal dan cara aplikasi seperti *electroplating*, *cladding*, *hotdip coating*, *liquid coating* atau *protective coating*.

2.2.3 Pemilihan Material

Prinsip dasar metode pemilihan material adalah memilih material sesuai dengan kondisi lingkungan dimana material tersebut digunakan. Metode ini berhubungan dengan potensial galvanik dari logam yang digunakan.

2.2.4 Inhibitor

Inhibitor adalah zat yang ditambahkan dalam jumlah yang relatif kecil, berkisar 10-80 ppm ke dalam lingkungan korosif sehingga mengubah mekanisme reaksi lingkungan dan menurunkan laju korosinya. Inhibitor memiliki mekanisme kerja secara umum yaitu (Roberge, 2000)

- Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor.
- Inhibitor mengendap pada lingkungan dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi.
- Inhibitor lebih dahulu mengkorosi logam logamnya dan menghasilkan suatu zat kimia dan mengalami adsorpsi dari produk korosi untuk membentuk lapisan pasif pada permukaan.
- Inhibitor menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungan.

2.2.5 Proteksi Coating pada Pipa Terhadap Korosi

Penggunaan *coating* pada pipa *pipeline* merupakan opsi perlindungan permukaan pipa yang paling banyak dipilih karena kemudahannya dalam proses aplikasi di lapangan maupun di *shop*. Adapun jenis *coating* yang sering digunakan dalam *pipeline* berupa *organic coating*. Contoh *organic*

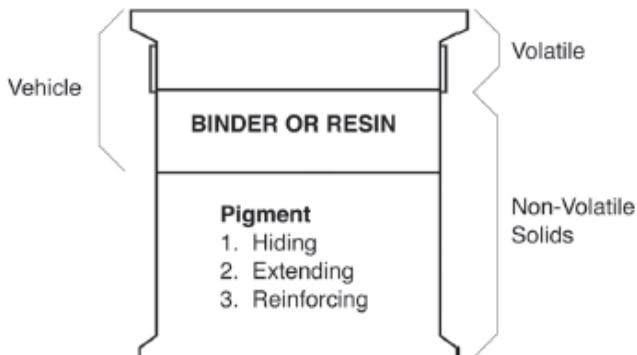


coating adalah *coating (paint)* yang memiliki binder atau resin alkid, epoksi ester, dan vinil. Dalam aplikasi *coating* pipa pada *pipeline* lapangan minyak bumi dan gas alam, *organic coating* yang paling sering digunakan adalah cat organik berbasis epoksi, *Fusion-Bonded Epoksi (FBE)*, dan *wrapping tape polyetilen*. FBE dan *wrapping tape* polietilen biasanya digunakan untuk pipa bawah tanah, sedangkan cat organik berbasis epoksi untuk pipa *pipeline above ground* (ASM Metal Handbook Vol.13, 2004).

2.3 Organik Coating

2.3.1 Komposisi Organik Coating

Organik coating berbahan dasar *liquid* atau cair yang terdiri dari tiga komponen penyusun dasar yaitu binder, pelarut (*solvent*), dan pigmen. Terkadang tidak semua *organic coating* terdiri dari tiga komponen diatas, namun pasti memiliki komponen binder. Pada perkembangan sekarang mulai banyak ditemukan coating organik dengan tidak menggunakan pelarut (*solventfree*) dan pigmen. Dalam pengemasan, binder, pelarut, dan pigmen dibagi menjadi bagian-bagian yang berbeda untuk nantinya dapat digunakan dalam kondisi terbaik saat diperlukan. (Drisko, 2012)



Gambar 2.4 Komposisi penyusun Coating
(Drisko, 2012)



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

Dalam beberapa ketentuan aplikasi *liquid* dapat dibedakan dua komponen yaitu *vehicle* dan *solid phase*. *Vehicle* atau komponen cair terdiri dari binder dan pelarut (*solvent*). Binder biasa disebut dengan *non-volatile* dan pelarut (*solvent*) disebut dengan *volatile*. Selanjutnya *solid phase* atau fasa padat yang terdiri dari pigmen dan zat aditif. Karena pigmen berat maka daripada komponen lainnya saat ada dalam kemasan pigmen akan berada pada dasar kemasan. Pada proses aplikasi coating, coating akan terjadi reaksi kimia dan mengalami proses pengeringan, dimana saat proses pengeringan pelarut akan menguap dan pigmen serta binder mengalami pengeringan menjadi solid. Hal ini yang dinamakan solid volume dalam kemasan *organic coating* pada pasaran. Persen volume solid sendiri dalam aplikasi dapat dipertimbangkan untuk menentukan ketebalan coating yang diinginkan saat kering dengan mengukur saat kondisi basah. Berikut perhitungan DFT (*Dry Film Thickness*) dari WFT (*Wet Film Thickness*) (CCI 2014).

$$WFT = \frac{DFT(\text{mikron}) \times 100}{\text{Percent Solid by Volume}} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$DFT = \frac{WFT(\text{mikron}) \times \text{Percent Solid by Volume}}{100} \dots\dots\dots (2.8)$$

Data persen solid diberikan oleh produsen yang diinformasikan melalui *technical data sheet* (TDS). Jika ada penambahan pelarut untuk mengurangi kekentalan, kandungan volume solid dalam produk tersebut akan berkurang (total volume akan bertambah, tetapi solid volume tidak). Hubungan akan berubah seperti digambarkan dibawah ini :

$$WFT = \frac{DFT(\text{mikron}) \times (100 + \text{percent added solvent})}{\text{Percent Solid by Volume}} \dots (2.9)$$

$$DFT = \frac{WFT(\text{mikron}) \times \text{Percent Solid Volume}}{(100 + \text{percent added solvent})} \dots\dots\dots (2.10)$$

Organic coating terdapat beberapa jenis berdasarkan jenis pelarut (*solvent*) yaitu, *solvent borne*, *water borne*, dan



free borne. *Free borne* terdapat pada epoksi dengan persentase solid hingga 100% dan tidak menggunakan pelarut dalam aplikasinya untuk mengurangi terjadinya pori saat proses aplikasi.

2.3.2 Binder

Binder adalah komposisi utama dalam membuat lapisan organik. *Binder* merupakan suatu bahan yang membentuk lapisan berkelanjutan yang nantinya menempel pada material baja dimana *binder* akan mengikat komponen-komponen lainnya sehingga membentuk suatu lapisan dan akhirnya menghasilkan permukaan lapisan luar yang keras (NACE CIP Committee, 2012). Untuk membuat lapisan proteksi pada permukaan, resin *binder* harus berubah dari keadaan *liquid* menjadi solid yang nantinya akan menempel pada permukaan dan melindungi permukaan tersebut. Hal yang perlu diketahui tentang *binder* adalah bagaimana mereka mengalami *curing*. Pada umumnya *binder* dapat mengalami *curing* dengan dua cara. Pertama adalah melalui evaporasi *solven*. *Binder* yang mengalami *curing* seperti ini disebut binder *thermoplastic* atau *non-covertible*. Kedua adalah lewat reaksi kimia selama atau setelah proses pengecatan. *Binder* ini dikenal sebagai binder *thermosetting*. Selain itu, hal yang harus dipahami dari binder adalah viskositas. Karena merupakan komponen utama dalam *coating*, viskositas *binder* sangat menentukan viskositas *coating*. *Coating* harus mempunyai viskositas cukup rendah untuk bisa digunakan dengan peralatan pengecatan sederhana (*brush*, *roller* atau *spray*) serta memiliki viskositas cukup tinggi sehingga tidak menetes. Faktor utama yang menentukan viskositas binder adalah berat molekulnya. Polimer yang mempunyai berat molekul tinggi akan lebih viskous daripada berat molekul rendah. Ada dua cara untuk



mengontrol viskositas suatu *coating*, yaitu dengan memvariasi berat molekul *binder* atau dengan menambahkan sejumlah *solvent*.

Fungsi utama dari *binder* sendiri adalah menyediakan struktur fisik untuk mendukung pigmen dan aditif. Contoh dari *binder* adalah epoksi, *polyurethane*, alkid, akrilik, *polyester*, dan beberapa produk *binder* lainnya. Dalam membuat lapisan organik, dapat digunakan dua macam *binder* ataupun lebih sehingga dapat meningkatkan sifat lapisan. *Binder* juga memengaruhi berbagai faktor penggunaan dalam cat, diantara lain:

1. Mekanisme dan durasi pengeringan
2. Peforma dalam berbagai lingkungan
3. Peforma dengan berbagai substrat
4. Ketersesuaian dengan jenis lainnya
5. Flexibilitas dan kekerasan
6. Daya lekat cat
7. Kemudahan dalam aplikasi

2.3.3 *Solvent*

Pelarut digunakan untuk melarutkan *binder* dan memudahkan pengaplikasian pengecatan. Hal ini dikarenakan pada temperatur normal, beberapa *binder* berada dalam keadaan solid. Pelarut memiliki dua karakterisasi utama yang dapat mempengaruhi dalam pelapisan, yaitu:

1. *Solvency power* merupakan kemampuan untuk tidak larut dalam resin
2. *Volatility* merupakan laju penguapan pelarut

Ketika lapisan telah mengalami *curing*, pelarut tidak akan memiliki fungsi apapun terhadap lapisan. Jika ternyata pelarut masih ada ketika lapisan telah mengalami *curing*, maka hal ini dapat menyebabkan masalah. Penggunaan pelarut sendiri dibatasi karena pelarut merupakan senyawa yang dapat mencemari lingkungan.



Pada saat pembuatan cat, *solvent* memberi kontribusi sedemikian rupa sehingga campuran mempunyai kekentalan yang pas untuk diproses: diaduk, dicampur, digiling dan lain-lain. Dengan penambahan *solvent* yang tepat dan cukup akan menurunkan kekentalan dari resin atau campuran pada suatu titik dimana kekentalannya memenuhi syarat untuk masing-masing proses.

Demikian halnya pada saat pemakaian cat, dengan penambahan jenis *solvent* yang tepat dan dengan takaran pas, maka cat bisa dikuas, dispray atau dilumurkan dengan mudah pada obyek yang akan dicat. Komposisi *solvent* yang tepat juga memberi pengaruh optimal pula pada mekanisme penguapan dari *solvent-solvent* yang ada, sehingga akan membentuk film yang maksimal karakteristiknya, baik tekstur permukaannya, sifat kilapnya maupun kecepatan keringnya.

Cat merupakan sebuah sistem campuran yang kompleks, ada padatan (*solute*) yang terlarut atau terdispersi dalam pelarut cair (*solvent*), ada juga cairan (*solvent active*) yang terlarut dalam cairan lain (*diluent*). Jadi definisi *solvent* adalah cairan (biasanya mudah menguap) yang berperan melarutkan atau mendispersi komponen-komponen pembentuk film (*resin, pigment dan/atau additive*) yang akan menguap terbuang ke lingkungan selama proses pengeringan.

Membicarakan *solvent* tidak bisa lepas dari thinner, karena keduanya saling berkaitan satu dengan yang lain. Thinner adalah campuran beberapa *solvent* yang dipakai untuk melarutkan resin di dalam cat atau mengencerkan cat selama penggunaan. Di dalam prakteknya resin atau cat dilarutkan oleh tidak hanya satu jenis *solvent*, tetapi oleh beberapa macam kategori *solvent*. Bagaimana dengan cat *water base, solvent* dan *thinner*-nya adalah setali tiga uang atau sama saja, yaitu air. Untuk cat jenis *water base* dimana air adalah sebagai pelarutnya, tidak akan dibahas dibagian ini.



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

Solvent biasanya dibagi berdasarkan struktur kimia atau karakteristik fisiknya. Penggolongan *solvent* berdasarkan struktur kimia adalah sebagai berikut:

1. Hidrokarbon

Sesuai namanya maka pada golongan ini terdiri dari *solvent-solvent* dimana unsur hidrogen (H) dan carbon (C) menjadi struktur dasarnya. Golongan ini terbagi lagi menjadi tiga sub golongan, yaitu: aliphatis, aromatis dan halogenated hidrokarbon. Sedang sub golongan aliphatis dibagi lagi menjadi aliphatis jenuh (saturated) dan tidak jenuh (unsaturated). *Solvent-solvent* golongan hidrokarbon hampir seluruhnya berasal dari hasil distilasi minyak bumi yang merupakan campuran dari beberapa sub-sub golongan (bukan senyawa murni), sehingga titik didihnya berupa range dari minimum sampai maksimum, bukan merupakan titik didih tunggal.

GOLONGAN UTAMA	SUB GOLONGAN	KETERANGAN	CONTOH DAN PENGGUNAANNYA
ALIPHATIS	<p>JENUH, tidak mempunyai ikatan rangkap dalam strukturnya, disebut juga ALKANA atau PARAFFIN.</p> <p>Terbagi menjadi 3 golongan:</p> <ul style="list-style-type: none">• RANTAI LURUS• RANTAI BERCABANG• SIKLIS.	<p>Hasil-hasil distilasi minyak bumi berupa campuran beberapa alkana dan mungkin beberapa jenis hidrokarbon lain.</p> <p>Titik didihnya dinyatakan dalam range. Komposisi dinyatakan dalam persentasi alkana yang ada.</p> <p>Alkana yang penting dalam industri cat adalah antara C6=hexana hingga C10=dekana.</p>	<p>Dari hasil distilasi minyak bumi (produksi PERTAMINA):</p> <p>Special Boiling Point XX, campuran senyawa hidrokarbon aliphatis, naphtenis dan sedikit aromatis. Boiling range-nya: 55 - 120°C. Mudah terbakar dan sangat volatile.</p> <p>Low Aromatic White Spirite (LAWS), campuran senyawa hidrokarbon paraffin, cycloparafin dan</p>

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik material dan Metalurgi



	<p>SIKLIS (NAPHTENE), ikatannya melingkar, atom karbon pertama bertemu dengan atom carbon terakhir.</p>		<p>aromatis. Boiling range antara 145 - 195°C. Stabil dengan warna jernih.</p> <p>Minasol-M, Pertasol CA, Pertasol CB, Pertasol CC dan minyak tanah (kerosene).</p> <p>Contoh lain adalah petroleum ether (40-60°C), naphta (70-90°C), petroleum benzine (120-150°C)</p> <p>Contoh jenis siklis yang diperoleh dari hasil ekstraksi tanaman adalah terpentin.</p> <p>Biasanya dipakai untuk solvent cat jenis alkyd (varnish, synthetic enamel) dan polyurethane.</p>
<p>TIDAK JENUH, mempunyai ikatan rangkap dua, ALKENA/OLEFIN (ethylene, propylene, dll) atau rangkap tiga, ALKYNE (etuna/acetylene, propuna, dll). Karena sifatnya reaktif dan hampir sebagian besar senyawanya dalam kondisi gas, maka tidak umum dipakai sebagai solvent dalam cat.</p>			



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

AROMATIS	Struktur molekulnya mengandung ikatan aromatis (benzene), C_6H_6 Daya larutnya lebih kuat dibanding senyawa-senyawa hidrokarbon aliphatis.	Toluena (methyl benzene), mempunyai titik didih $111^\circ C$, merupakan pelarut yang sangat kuat. Xylene (dymethyl benzene), merupakan campuran dari tiga macam isomer: ortho, metha dan para-xylena yang mempunya titik didih hampir sama ($144, 139$ dan $139^\circ C$) sehingga sulit dipisahkan dengan proses distilasi. Solvent-solvent jenis aromatis dipakai hampir pada semua jenis cat, terutama cat jenis acrylic, polyurethane, epoksi atau nitrocellulose.
HALOGENATED HIDROKARBON	Hidrokarbon dimana satu atau lebih atom hidrogen-nya diganti oleh atom halogen, seperti klorine (Cl) atau fluorine (F)	Methylene klorida atau diklormethane, cairan tak berwarna dengan titik didih $40^\circ C$. Dipakai untuk pembersih logam, solvent untuk cat jenis lacquer dan pembersih/penghilang cat (paint remover).

2. Oksigenated *Solvent*

Oksigenated *solvent* atau *solvent* dengan atom oksigen adalah *solvent-solvent* yang struktur kimianya mengandung atom oksigen. Termasuk dalam kategori ini adalah golongan ester, ether, ketone dan alkohol.

Faktor penting bagaimana *solvent* menjalankan fungsinga didalam cat adalah kemampuannya untuk

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik material dan Metalurgi



melarutkan resin, kemudian membentuk larutan yang stabil dan homogen.

GOLONGAN UTAMA	KETERANGAN	CONTOH DAN PENGGUNAANNYA
ESTER	<p>Senyawa organik hasil reaksi kondensasi antara asam karboksilat dan alkohol (esterifikasi), karenanya nama ester dimulai dari alkil alkohol dan diikuti nama asam karboksilat-nya, seperti: methyl acetat.</p> <p>Bau yang wangi adalah ciri khas senyawa ini.</p> <p>Makin sedikit atom karbon dan/atau makin banyak cabangnya, maka makin mudah menguap.</p>	<p>Ethyl acetate Isopropil acetate Iso dan butyl acetate Dipakai sebagai solvent pada cat jenis acrylic dan nitro cellulose.</p>
ETHER	<p>Senyaw organik hasil reaksi kondensasi alkohol. Senyawa ini mengandung gugus fungsional oksigen yang diapit oleg dua buah lakil.</p>	<p>Ethyl methyl ether (methyl "cellosolve") Butyl ethyl ether (butyl "cellosolve") Dipakai sebagai solvent pada cat jenis acrylic dan nitro cellulose.</p>



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

KETONE	Senyawa organik hasil reaksi oksidasi alkohol. Senyawa ini mengandung gugus fungsional karbonil. Merupakan solvent yang sangat kuat daya larutnya dan juga sangat volatile.	Acetone Methyl ethyl ketone (MEK) Methyl methyl ketone (MMK) Methyl isobutyl ketone (MIBK) Dipakai sebagai solvent pada cat jenis acrylic dan nitro cellulose.
ALKOHOL	Adalah senyawa organik yang mempunyai gugus fungsional hidroksil (OH) yang melekat pada sebuah alkil dari hidrokarbon, baik aliphatis maupun aromatis.	Ethyl alkohol (ethanol) Isopropyl alkohol (2-propanol) Butanol Dipakai sebagai latent solvent pada cat jenis nitro cellulose

Beberapa parameter dalam hubungannya terhadap daya larut *solvent* adalah sebagai berikut:

1. *Solubility* Parametr *Solvent*

Solvent hidrokarbon mempunyai hubungan yang proporsional dengan harga Kauri Butanol (KB); semakin besar harga KB-nya, semakin besar *solubility* parameternya atau dengan kata lain semakin besar pula daya larut *solvent* tersebut. makin besar daya larut *solvent* tersebut.

2. Hidrogen Bonding Index

Merupakan ukuran kekuatan ikatan antara atom-atom hidrogen (relatif positif) dan atom-atom negatif seperti oksigen dalam *solvent* tersebut, harganya berkisar antara - 15 sampai + 18. *Solvent-solvent* hidrokarbon mempunyai harga rendah dan jenis alkohol mempunyai harga yang tinggi, sedang lainnya berkisar di antara dua jenis *solvent* tersebut.

3. *Dipole Moment*

Merupakan polaritas suatu *solvent* yang tergantung dengan nilai konstanta dielektriknya. Pada umumnya makin



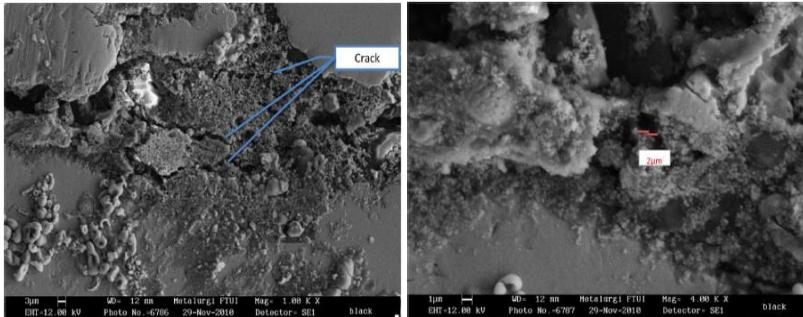
polar suatu bahan yang dilarutkan akan membutuhkan semakin polar pula bahan pelarutnya.

Dalam hubungannya dengan resin *Nitro Cellulose* (NC) ada beberapa istilah yang berkaitan dengan *solvent* yang perlu dibahas, yaitu *Active Solvent*, *Latent Solvent* dan *Diluent*. *Active solvent* adalah *solvent* yang secara nyata melarutkan NC, contoh: hampir semua *keton* (MEK), *ester* (*ethyl* atau *butyl acetate*) dan *ether* (*aceton*). *Latent solvent* atau juga disebut *co-solvent* adalah *solvent* yang bila sendirian tidak bisa melarutkan NC, tetapi digunakan untuk meningkatkan daya larut *active solvent*nya. Peningkatan daya larut *active solvent* dapat dilihat dari penurunan kekentalan larutan yang cukup besar setelah ditambah *latent solvent* (dibanding dengan penambahan yang sama *active solvent* atau *solvent* jenis lain), contoh *latent solvent* adalah alkohol. Sedang *diluent* adalah *solvent* yang dipakai untuk melarutkan kedua jenis campuran *solvent* tersebut (*thinner*), sehingga harganya diharapkan lebih murah, dibanding bila hanya ada dua jenis *solvent* tersebut (Susyanto, 2009).

Kebanyakan orang yang melakukan aplikasi coating tidak peduli terhadap pengaruh penambahan pelarut ketika pengaplikasian cat. Terlalu banyak pelarut atau penambahan *thinner* akan mengakibatkan terjadinya *sagging* dan pembentukan *pinhole* ketika terjadi penguapan pelarut pada lapisan coating (SSPC, 2012). Penggunaan pelarut yang tidak sesuai akan menyebabkan terbentuknya porositas, *discolor* (Gonzalez, 2001). *Duration*, tingkat gloss yang rendah, mata ikan, kekuatan lapisan yang rendah serta daya adhesi yang buruk. Selain itu, konsentrasi pelarut juga berpengaruh terhadap pembentukan ikatan silang pada beberapa jenis cat. Dengan tingginya konsentrasi pelarut akan menurunkan konsentrasi monomer yang ada sehingga berat molekul menjadi turun. Dan juga konsentrasi pelarut yang tinggi menyebabkan reaksi transfer antar ikatan rantai berkurang yang



juga dapat mengurangi berat molekul (Wicks, 1999). Berikut (Gambar 2.5) hasil SEM akibat adanya porositas seperti yang diungkapkan (Gonzalez, 2001) pada penelitian sebelumnya..

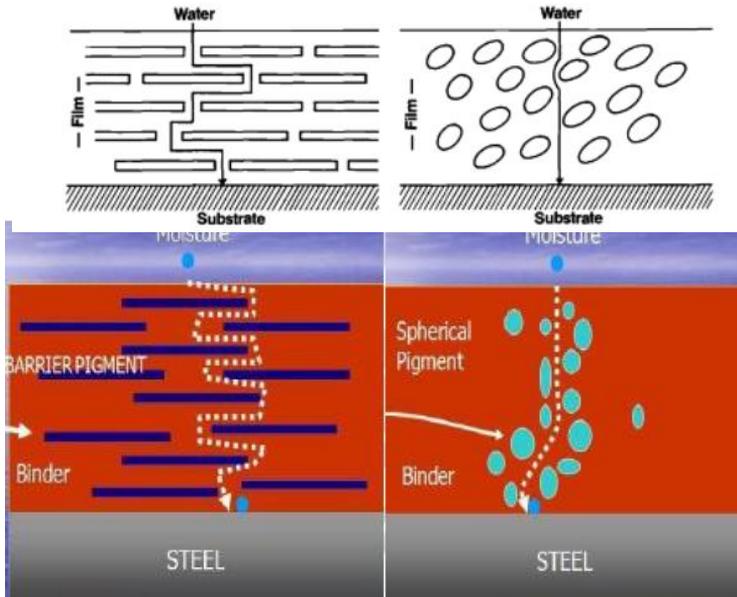


Gambar 2.5 Hasil SEM saat terjadinya *crack* dan pori pada *Coating Organik* (Arman 2011)

2.3.4 Pigmen

Pigmen dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu pigmen pewarna, *extender* atau biasa disebut *pigmen* pengisi, *pigmen* inhibisi dan juga *pigmen* metalik. *Pigmen* pewarna tentunya berfungsi untuk memberikan warna tertentu pada lapisan coating sehingga menambah nilai estetikanya. Pigmen pewarna yang digunakan pada coating harus memiliki beberapa sifat yaitu :

- *High hiding power*
- *Colour fastness*
- *Non bleeding* (tidak larut dengan pelarut)
- Ketahanan kimia yang baik
- Dapat menyerap sinar ultraviolet



Gambar 2.6 Ilustrasi Bentuk Pigmen terhadap Laju *Moisture* (Arman, 2011)

Pigmen anti korosif terbagi menjadi 3 yaitu (Herbert 2008):

1. *Inhibiting pigments.*
2. *Metallic pigments.*
3. *Flake formed pigments*

Coating merupakan proses pelapisan permukaan logam dengan cairan atau serbuk, yang akan melekat secara kontinu pada logam yang akan dilindungi, tentunya setelah melalui proses solidifikasi. Proses pelapisan ini akan mengurangi intensitas logam untuk mengalami kontak dengan lingkungannya. Pelapisan yang paling umum digunakan adalah pelapisan menggunakan cat (Roberge 2000)



2.3.5 Aditif

Aditif adalah komponen *liquid* dari lapisan yang biasanya ditambahkan dalam jumlah kecil. Aditif berguna untuk menambahkan sifat tertentu pada lapisan. Beberapa aditif dapat memastikan stabilitas lapisan dan juga dapat membantu dalam pengaplikasian pelapisan. Berikut adalah contoh penggunaan aditif :

- Pembasahan agen untuk membantu dalam penyebaran *air-borne coating*
- Aditif untuk mencegah penggumpalan, pengeringan, atau lainnya
- Kerusakan cat basah selama Penyimpanan
- *Biocides* untuk stabilitas di kaleng selama penyimpanan
- *Driers* untuk mempercepat penyembuhan dari minyak-*base coating*
- *Plasticizers* untuk memberikan fleksibilitas untuk film sembuh
- *Mildewcides* untuk mengendalikan pertumbuhan jamur pada film kering

2.3.6 Formulasi

Setelah menentukan komponen-komponen untuk *coating*, maka mereka harus disatukan dalam jumlah yang sesuai. Berikut ini adalah parameterparameter yang penting untuk formulasi *coating*.

1. Rasio pigmen/binder

Merupakan perbandingan berat pigmen terhadap berat binder. Topcoat biasanya memiliki P/B 1,0 atau kurang sedangkan primer *coating* mempunyai P/B 2-4. *Coating* gloss biasanya mempunyai P/B yang lebih rendah daripada *coating* flat.

2. Konsentrasi volume pigmen (PVC)

Pigmen volume concentration (PVC) merupakan rasio volume pigmen terhadap volume total binder dan pigmen. Dua jenis *coating* dapat memiliki nilai P/B yang sama namun sangat



berbeda nilai PVCnya. Secara sederhana hal ini dapat dihasilkan dengan menggunakan pigmen dengan densitas yang berbeda. Nilai PVC dimana terdapat jumlah binder yang tepat untuk menghasilkan lapisan tipis permukaan secara sempurna untuk setiap partikel dari pigmen merupakan nilai PVC kritis (CPVC). Di atas nilai CPVC, tidak ada cukup binder untuk membasahi semua pigmen. Sedangkan di bawah nilai CPVC, terdapat kelebihan binder. Pada formulasi di bawah CPVC, permeabilitas *coating* biasanya rendah dan secara cepat akan meningkat ketika CPVC dilewati. Karena adanya kerusakan sejumlah sifat-sifat fisik, kebanyakan *coating* eksterior kinerja tinggi seharusnya diformulasikan di atas CPVC (Drisko, 2012).

3. Densitas, berat solid dan volume solid

Densitas, berat solid dan volume solid serta persentase binder dan persentase pigmen seringkali disebut sebagai konstanta fisik dari *coating*. Densitas biasanya dinyatakan dalam satuan pound per gallon. Berat solid *coating* biasanya dalam

Bentuk persentase non volatile, merupakan berat solid dibagi dengan berat total *coating*. Volume solid adalah persentase volume material non-volatil. Volume solid menentukan berapa luas area yang dapat *dicoating*. Kemudian persentase binder dan persentase pigmen merupakan persentase binder dan pigmen dalam *coating*.

Seorang formulator harus mengetahui kuantitas ini dan bagaimana untuk mengukurnya. Densitas *coating* diukur menggunakan *pyncnometer*. Berat padatan dapat dihitung dari formula *coating* atau ditentukan dengan menentukan berat material *nonvolatil* yang tetap ada setelah *coating* dievaporasi di dalam oven.

2.3.7 Mekanisme Pembentukan Film

Mekanisme pembentukan coating dari air atau *liquid* menjadi solid dapat dibedakan menjadi *Non Convertible* dan *Convertible*. *Non Convertible* lapisan mengandung resin yang tidak berubah secara kimia selama pembentukan film. Lapisan



convertible mengandung resin atau komponen pembentuk resin yang mengalami perubahan kimia selama pembentukan film. *Coating* yang menggunakan curing agent dasar yang sama cenderung kompatibel dengan satu sama lain, tetapi tidak dengan *coating* yang menggunakan curing agent dengan mekanisme lain.

2.4 Mekanisme Pengendalian Korosi Menggunakan *Protective coating*

Dari fungsinya sebagai penghalang antara lingkungan dengan substrat agar tidak terjadinya kontak dan berakibat adanya reaksi kimia. Pada perannya tersebut *protective coating* memiliki mekanisme proteksi yaitu sebagai lapisan penghalang, lapisan inhibisi, dan proteksi katodik.

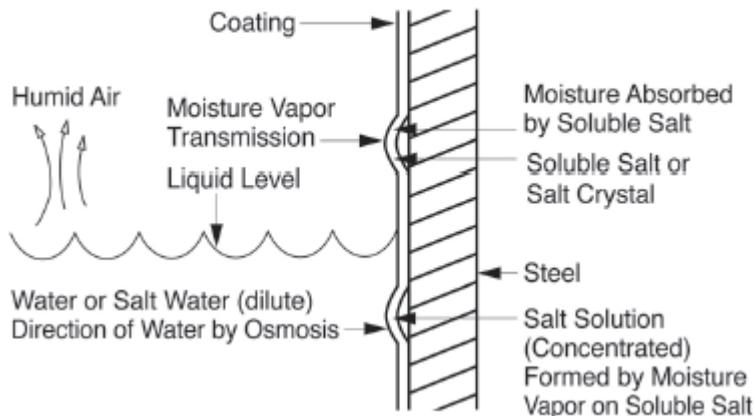
2.4.1 Lapisan Penghalang (*Barrier Coating*)

Lapisan berfungsi sebagai penghalang antara permukaan material dengan lingkungan. Lapisan penghalang ini berfungsi untuk mencegah pembentukan elektrolit pada *interface* lapisan/permukaan dan menghalangi molekul oksigen untuk berdepolarisasi. Penetrasi air dan oksigen ke dalam permukaan akan menjadi tidak signifikan ketika tidak adanya ion pada permukaan. Pada dasarnya hampir semua lapisan perlindungan korosi logam dengan membentuk penghalang antara logam dan elektrolit dalam lingkungan. Penetrasi kebanyakan film oleh air dan oksigen relatif cepat, tetapi penetrasi larutan garam (ion) relatif lambat. Dengan demikian, lapisan penghalang dapat memberikan pengendalian korosi selama beberapa tahun. Sebenarnya waktu yang lapisan ini memberikan perlindungan penghalang tergantung pada (Jenkins 2012):

- Sifat Permeabilitasnya
- Jumlah dan jenis penambahan pigment dan aditif
- Ketebalan Coating
- Kualitas Formulasi Coating
- Kebersihan saat persiapan permukaan



- Keretakan coating dengan substrat
- Tingkat korosifitas lingkungan



Gambar 2.8 Mekanisme Pembentukan *Blistering*
(Drisko, 2012)

Tidak ada lapisan organik benar-benar impermeable terhadap elektrolit namun, beberapa lapisan penghalang seperti epoksi melakukan fungsi ini sangat baik, terutama jika permukaan logam bebas dan ada yang tidak garam larut dalam lapisan film. Epoksi dengan pelarut minyak memiliki permeability yang baik. Epoksi pada daerah immers yang memiliki perbedaan konsentrasi ionic antara bagian luar coating (coating dengan lingkungan) dan bagian dalam coating (coating dengan substrat), hal ini yang membuat migrasi air melewati coating dan memicu terjadinya blistering. Gambar 2.8 menunjukkan mekanisme pembentukan *Osmotic Blistering*.

Secara umum, semakin besar ketebalan penghalang, perlindungan lebih logam dalam kebanyakan layanan. Sangat tebal film dengan fleksibilitas yang terbatas, namun, mungkin



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

tidak mudah memperluas dan kontrak dengan substrat dan dapat retak atau disbond dari itu. Gambar 2.9 menunjukkan contoh retak.



Gambar 2.9 Cacat pada *Coating*
(Drisko, 2012)

2.4.2 Lapisan Inhibisi (*Inhibitive Coating*)

Lapisan inhibisi berfungsi untuk memperlambat reaksi yang terjadi pada anoda, katoda, ataupun pada keduanya. Supaya lebih efektif, lapisan inhibisi harus menempel langsung pada permukaan material. Untuk terbentuknya lapisan inhibisi, maka lapisan harus ditambahkan senyawa kimia yang berfungsi untuk menghalangi reaksi yang terjadi pada permukaan material. Selain itu, agar terbentuk lapisan inhibisi juga diperlukan sedikit kelembaban dan pigmen. Pigmen ini nantinya akan mempasifasi permukaan material dengan membentuk lapisan tipis yang melekat dengan kuat pada permukaan.

2.4.3 Proteksi Katodik (*Sacrificial*)

Metode ini menggunakan material yang lebih anodik dibanding material yang ingin dilindungi. Proteksi katodik ini biasanya mengandung zink sebagai pigmen utamanya dan memiliki pembebanan minimum dari zink agar lebih efektif. Ketika material terekspos di lingkungan korosif, lapisan ini akan melindungi material dengan menjadi anoda korban.



Metode ini hanya efektif untuk digunakan pada lapisan primer dikarenakan zink harus bereaksi dengan logam agar terbentuk lapisan proteksi.

2.5 Permeabilitas

Studi pertama permeabilitas polimer terhadap gas melalui polimer yang dilakukan oleh Thomas Graham pada tahun 1829 (Felder, 1980). Dan pada perkembangan selanjutnya dikemukakan bahwa:

1. Permeabilitas disebabkan oleh tekanan.
2. Peningkatan temperatur menyebabkan penurunan kelarutan penetrasi dan membuat nilai permeabilitas meningkat. Dan diperlukan material yang memiliki permeabilitas lebih rendah.
3. Terlalu lama untuk temperatur tinggi mempengaruhi kapasitas permeabilitas.
4. Perbedaan permeabilitas dapat dieksploitasi untuk aplikasi.
5. Variasi ketebalan polimer mengubah tingkat perembesan tetapi tidak karakteristik pemisahan polimer.

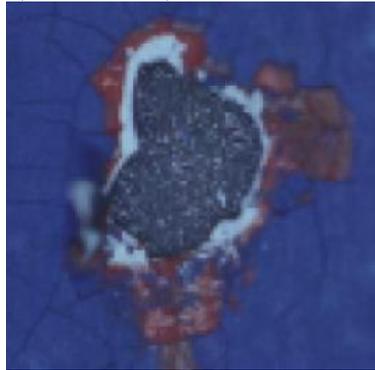
Untuk mengetahui nilai permeabilitas dari suatu material terutama coating dapat diukur melalui standard ASTM D-1653.

2.6 Permeasi dan Osmosis

Osmotic Blistering seperti pada gambar merupakan salah satu kegagalan yang umum terjadi pada coating yang terletak pada daerah yang basah seperti air laut. Sering dikatakan bahwa pelapis organik berfungsi sebagai pelapis atau pelindung substrat dengan lingkungan, namun semua polimer yang sangat permeabel sekalipun seperti epoksi masih dapat ditembus oleh air atau oksigen karena ukuran partikelnya yang sangat kecil, hal ini karena adanya perbedaan kelembaban. Selain itu hal ini dapat terjadi karena daya lekat antara coating dengan substrat yang rendah, namun itu tidak sepenuhnya benar karena faktor utama terjadinya osmotic blistering 1)



Permeabilitas coating 2) Impermeabilitas substrat 3) Konsentrasi air terlarut 4) Konsentrasi gradient. Konsentrasi gradient merupakan kekuatan pendorong kekuatan pendorong untuk terjadinya blistering. Untuk itu diperlukan coating dengan peran penghambatan yang baik agar tidak terjadinya proses *blistering* dengan cara pemilihan resin yang baik seperti hidrophobik lebih besar atau density *cross link* yang lebih tinggi, oleh karena itu epoksi sebagai resin banyak digunakan di dunia industri (Petrie, 2011).



Gambar 2.10 Kerusakan akibat blistering
(Petrie, 2011)

2.7 *Materials Coating*

2.7.1 **Epoksi**

Resin epoksi atau secara umum dikenal dengan bahan epoksi adalah salah satu dari jenis polimer yang berasal dari kelompok termoset. Polimer pada perkembangannya saat ini banyak digunakan sebagai bahan substansi untuk logam terutama karena sifat-sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan kimia, dan murah, khususnya untuk aplikasi-aplikasi pada temperature rendah.

Istilah polimer sendiri digunakan untuk menggambarkan bentuk molekul raksasa atau rantai, yang sangat yang terdiri atas unit-unit terkecil yang berulang-ulang atau mer atau meros sebagai blok-blok penyusunnya. Molekul-



molekul (tunggal) penyusun polimer dikenal dengan istilah monomer. Polimer umumnya dikelompokkan berdasarkan perilaku mekanik dan struktur rantainya. Polimer termoplastik adalah jenis polimer yang memiliki struktur rantai yang linier, bercabang (*branched*), atau sedikit bercabang (*cross link*). Polimer dari jenis ini akan melunak pada saat dipanaskan dan menjadi keras dan kaku (*rigid*) pada saat didinginkan berulang-ulang. Sementara itu polimer thermoset (*thermosetting*), hanya melebur pada pertama kali dipanaskan dan selanjutnya mengeras secara permanen pada saat didinginkan. Polimer jenis ini bersifat lebih keras dan kaku (*rigid*) jika dibandingkan dengan termoplastik, karena struktur molekulnya yang membentuk jejaring tiga dimensi yang saling berhubungan (*network*). Polimer jenis elastomer, misalnya karet alam, memiliki daerah non linier yang sangat besar yang disebabkan oleh adanya sambungan-sambungan antar rantai (*cross link*) yang berfungsi sebagai penguat bentuk (*shape memory*) sehingga karet dapat kembali ke bentuk semula ada saat beban eksternal dihilangkan.

Epoksi dibentuk melalui proses polimerisasi kondensasi, bahan plastik yang tidak dapat dilunakkan kembali atau dibentuk kembali ke keadaan sebelum mengalami pengeringan. Proses pembuatannya dapat dilakukan pada suhu kamar dengan memperhatikan zat-zat kimia yang digunakan sebagai pengontrol polimerisasi jaringan silang agar didapatkan hasil yang optimum. Epoksi termasuk kelompok polimer yang digunakan sebagai bahan pelapis, perekat, dan sebagai matriks pada material komposit di beberapa bagian struktural, resin ini juga dipakai sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan, dan perekat. Digunakan juga pada banyak aplikasi seperti automotif, *aerospace*, perkapalan, dan peralatan elektronik yang secara umum memiliki sifat yang baik dalam hal reaksi kimia, konduktivitas termal, konduktivitas listrik, tahan korosi, kekuatan tarik dan kekuatan bending sangat baik (Diego, 2012).



Resin epoksi mempunyai sifat-sifat: berstruktur amorf, tidak bisa meleleh, tidak bisa didaur ulang, atom-atomnya berikatan kuat sekali. Keunggulan yang dimiliki resin epoksi ini adalah ketahanannya terhadap panas dan kelembaban, sifat mekanik yang baik, tahan terhadap bahan-bahan kimia, sifat insulator, sifat perekatnya yang baik terhadap berbagai bahan, dan resin ini mudah dalam modifikasi dan pembuatannya. Namun demikian epoksi juga mempunyai kelemahan pada sifat ketahanan abrasif dan getas. Kegunaan epoksi sebagai bahan matriks dibatasi oleh ketangguhan yang rendah dan cenderung rapuh. Oleh sebab itu saat ini terus dilakukan penelitian untuk meningkatkan ketangguhan bahan matriks atau epoksi (Koleske, 2012).

2.7.2 Epoksi sebagai *Material Coating*

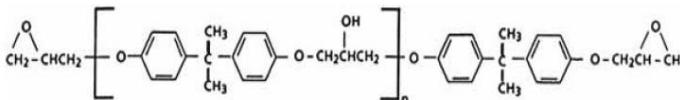
Epoksi adalah jenis polimer yang biasa digunakan untuk pelapisan dalam bentuk *liquid* maupun *powder*. Epoksi bisa dibuat dari salah satu Tiga bahan dasar utama seperti Bisphenol A, Bisphenol F dan Novolac. Cat Epoksi terdiri dari dua komponen, yaitu *Base paints* dan *Curing Agents*. *Curing Agent* pada cat Epoksi berfungsi sebagai pembentuk ikatan molekul tiga dimensi. (J. Havlik, 2007).

Resin epoksi berbasis BPA dikembangkan secara independen oleh Pierre Castan di Swiss dan oleh Sylvan Greenlee di Amerika Serikat selama tahun 1930-an dan 1940-an diketahui struktur untuk resin epoksi ini dapat dilihat pada Gambar 2.12. Epoksi A. Bisphenol memiliki sifat yang unik dari sifat karakteristiknya dan aplikasinya yang dapat digunakan dalam berbagai teknologi. Karakteristik tersebut meliputi kekuatan adhesi yang baik dan ketahanan terhadap korosi, tahan kimia, nilai penyusutan yang rendah, kekuatan yang tinggi, tahan terhadap panas yang baik, ketangguhan yang baik, dan sifat listrik yang sangat baik. Karena adhesi dan ketahanan korosi, resin epoksi telah digunakan dalam pelapisan primers dan coating sejak resin epoksi yang pertama dikomersialkan. Selain itu, sifat ketahanan kimia yang baik



membuat epoksi sebagai pelapis yang memberikan perlindungan yang baik terhadap lingkungan yang korosif. Mereka digunakan secara luas dalam lapisan kilang, pabrik kimia dan peralatan laut, seperti kapal dan platform lepas pantai. Selain itu aplikasi resin epoksi juga mampu melindungi perlengkapan otomotif, pesawat, dan pipa. Ketahanan kimia dan ketahanan korosi mengakibatkan pengembangan epoksi sebagai pelapis digunakan untuk interior lapisan dari kaleng bir dan minuman (Koleske, 2012).

Selain itu epoksi sebagai coating sering digunakan karena memiliki sifat *Surface Tolerant* (tidak membutuhkan kekasaran atau tingkat kebersihan yang spesifik pada substrat). Kedua, bisa dicampur dengan bermacam *curing agents*, Pigmen dan Binder lain untuk mendapatkan sifat-sifat khusus yang diinginkan. Epoksi dapat digunakan pada lapisan manapun dalam *Coating System* (*Primer*, *Intermediate* dan *Top Coat*). Kekurangan yang dimiliki coating adalah lemah terhadap paparan sinar Ultraviolet yang terus menerus dan mengakibatkan *Chalking* (pengapuran) sehingga mengalami penipisan (Vincent 2010).



n is typically 0 to 1 for liquid resins with solid resins
having n values as high as 15 or more

Gambar 2.11 Rantai Ikatan Kimia dari Epoksi
(Koleske, 2012)

2.8 Kerusakan pada Lapisan Cat

Lapisan cat memiliki kerusakan yang beraneka ragam dan faktor penyebab terjadinya kerusakan pun beraneka ragam. Di bawah merupakan jenis-jenis kerusakan lapisan cat yang umum. (Diego, 2012)

1. Perubahan warna (*Gloss Retention*) : Warna berubah menjadi kekuningan, abu-abu, atau menjadi gelap,



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

perubahan ini dapat dilihat jelas dengan membandingkan lapisan yang di ekspose dengan yang tidak di ekspose ke lingkungan. Penyebab terjadinya perubahan warna ini adalah warna resin atau pigmen berubah karena pengaruh cuaca atau bahan kimia

2. Pengapuran : Permukaan lapisan menjadi lunak dan menyerbukan dan menyebabkan terjadinya perubahan warna serta penurunan kilap. Adanya pengapuran dapat dilihat dengan cara mengusapkan kapas basah ke permukaan lapisan cat. Tetesan air yang keruh dari kapas basah ke permukaan lapisan cat. Tetesan air yang keruh
3. Retak Permukaan (*Checking*) : Dicitrakan oleh adanya retakan yang tidak linier dan tidak kontinyu. Retakan ini hanya terjadi pada permukaan dan tidak menembus ke substrat. Pengkerutan ini biasanya disebabkan oleh cuaca dan polimerisasi serta oksida lapisan cat yang terus menerus.
4. Retakan Tembus (*Cracking*) : Retakan-retakan kecil terjadi pada lapisan yang menembus sampai ke substrat. Bentuknya mungkin linier, menyilang atau melengkung. Retaknya bisa kontinyu atau tidak. Ini disebabkan oleh reaksi polimerisasi dan oksidasi secara terus menerus, pigmentasi yang salah atau sistem pengecatan yang salah.
5. Retak Kulit Buaya (*Alligator*) : Merupakan jenis retakan "*macro-checking*" umumnya berbentuk seperti lubang-lubang jendela. Adanya tekanan internal sehingga lapisan cat bagian permukaan mengkerut lebih cepat daripada lapisan cat keseluruhan akibat polimerisasi atau penguapan *solvent* yang sangat cepat menjadi penyebab kerusakan ini. Disamping itu penggunaan *top coat* yang keras diatas *under coat* yang lunak juga menyebabkan kerusakan ini terjadi.



6. *Mud-Cracking* : Merupakan “*macro-cracking*” yang biasanya menembus ke substrat. Hal ini dapat menyebabkan cepatnya timbul korosi dan pengelupadan lapisan. Penyebab kerusakan ini adalah cat yang terlalu cepat mengering, khususnya terjadi pada cat emulsi air
7. Pengerutan (*Wrinkling*) : Pembentukan garis-garis kerutan pada permukaan lapisan cat. Bias merupakan garis-garis lurus atau tak menentu mulai dari yang kecil-kecil atau besar. Kesalahan dalam formula umumnya disebabkan oleh kandungan bahan pengering yang berlebihan sehingga permukaan lapisan cat mengembang menjadi sebab kerusakan ini. Hal ini sering terjadi pada cat oil base atau cat alkyd
8. Pelepuhan (*Blistering*) : Pembentukan gelembung-gelembung besar atau kecil pada lapisan cat. Di dalamnya berisi gas atau cairan. Banyaknya bias $1/\text{ft}^2$ sampai beberapa ratus/ ft^2 . Blistering sering disebabkan oleh kemampuan daya lekat cat kurang yang disebabkan preparasi permukaan dan adanya bahan yang larut-bahan yang larut dalam air. Gas-gas yang diabsorpsi ke permukaan logam atau *solvent* yang terperangkap juga dapat menyebabkan *blistering*.
9. Kerusakan oleh *Mikroorganisme* : Terjadinya pelunakan atau adanya bitnik-bintik cokelat atau hitam pada permukaan lapisan yang menyebabkan penampilan menjadi kotor. Penyebab kerusakan ini sering disebabkan oleh biodegradasi lapisan cat oleh bakteri atau jamur (lapisan digunakan sebagai sumber makanan)
10. Erosi : Sering terjadi pada lapisan cat yang dikuas dimana pada daerah daerah tertentu yang banyak terdapat bekas-bekas kuas lapisan cat mengelupas. Penyebabnya adalah terjadi mekanisme yang serupa



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

dengan pengapuran dengan terlepasnya sebagian cat akibat cuaca abrasi.

11. Pengelupasan (*Peeling*) : Kerusakan lapisan cat berupa irisan-irisan yang tergantung karena megeupas. Penyebabnya adalah daya lekat cat lebih kecil daripada regangan lapisan cat. Jika lapisan cat dapat ditarik dengan substrat dan daya lekatnya hilang.
12. Menyerpih (*Flaking*) : Lapisan cat terkelupas, mengkerut pada tepinya, mudah dilepas dari permukaan sehingga substratnya kelihatan. Cat dapat menjadi rapuh karena pengkerutan dibagian dalam. Cat minyak dapat menyerpih pada permukaan yang galvanis
13. *Undercutting* : Adanya korosi yang mengembang di bawah lapisan yang dimulai dari daerah pecahan, tepi atau lubang-lubang. Daya lekat cat kurang yang diakibatkan oleh kontaminasi pada permukaan, permukaan sangat halus atau daya gabung dengan permukaan kurang jadi penyebab kerusakan ini.
14. *Pinhole* : Lubang-lubang kecil yang terlihat oleh mata pada permukaan lapisan. Kerusakan ini biasa disebabkan oleh teknik penyemprotan yang tidak tepat.
15. *Holiday* : Daerah-daerah kosong yang yang tidak terlapis cat karena sukarnya untuk dilapisi. Disebabkan oleh aplikasi cat yang kurang sesuai dan pemeliharaan.
16. *Bleeding* : Penodaan karena terjadi pemindahan pigmen berwarna yang dapat larut dari lapisan kering (Lapisan sebelumnya). Penyebabnya adalah resin atau pigmen yang larut dari lapisan cat sebelumnya.
17. *Runs/ Sags* : Lapisan cat bergerak turun, biasanya terjadi pada permukaan yang vertikal. Penyebabnya adalah aplikasi yang berlebihan.
18. Karat (*Rusting*) : Terjadinya bintik-bintik karat karena lapisan cat rusak sehingga substrat yang tidak tertutup lagi oleh lapisan cat lapisan cat diserang korosi akibat kontak dengan lingkungan. Ini disebabkan oleh

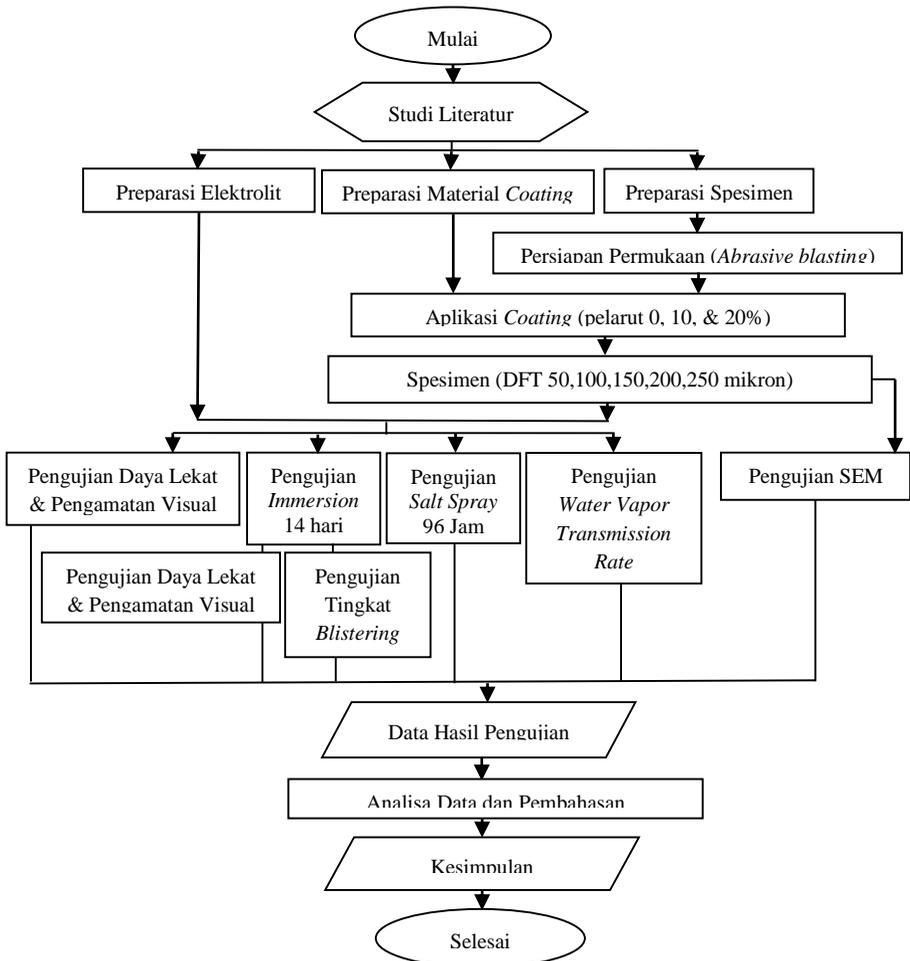


ketebaan lapisan cat yang lebih tipis dan makin lama berkembang ke daerah lainnya.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan dengan metode penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini mengacu pada jurnal dan buku dari situs – situs penelitian yang mempelajari mengenai permasalahan korosi dan pencegahannya, yaitu *protective coating*. Khususnya jurnal dan buku yang membahas mengenai permeabilitas *coating*, aplikasi pengendalian korosi dengan menggunakan *organic coating* pada lingkungan air laut, serta pencegahan korosi menggunakan *coating* organik akibat ketebalan material *coating* dan penambahan pelarut.

2. Eksperimental

Ada beberapa eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian *immersin*, *salt spray*, *water vapor permeability*, *Adesion*, dan SEM

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Neraca Analitik (*Mettler Toledo*)

Digunakan untuk menimbang NaCl serbuk dan perubahan berat pada pengujain *water vapor permeability*.



Gambar 3.2 Neraca *Mettler Toledo*



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

2. Mesin Pengaduk Cat (*Mechanical Stirrer*)
Digunakan untuk mencampurkan material cat dengan curing agent serta *solvent* (pelarut).



Gambar 3.3 Mesin Pengaduk Cat

3. Alat *Surface Preparation (Sand Blasting)*
Sand Blasting digunakan untuk membersihkan permukaan substrat.



Gambar 3.4 Alat *Sand Blasting*

4. *Sling Psychrometer* dan *Dew Calculator*
Kedua alat ini digunakan untuk mengukur temperatur basah dan kering serta kelembaban udara.



Gambar 3.5 Alat *Sling Psychrometer* dan *Dew Calculator*

5. Alat Cat (*Conventional Air Spray*)

Alat ini digunakan untuk aplikasi *coating* yang bekerja menggunakan udara kompresor untuk memberikan tekanan yang membuat cat mengabut pada permukaan substrat.



Gambar 3.6 Alat *Conventional Spray*

6. *Flashlight Magnifier*

Alat ini digunakan untuk melihat kebersihan specimen hasil blasting dan persentase visual hasil uji daya lekat



Gambar 3.7 *Flashlight Magnifier*



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

7. *Roughness Meter* (Alat Uji Kekasaran Permukaan)
Alat ini digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan substrat.



Gambar 3.8 *Roughness Meter*

8. Pengukuran kebersihan permukaan
Digunakan buku standar ISO 8503



Gambar 3.9 Spesimen yang Digunakan Sebelum dan Sesudah Dilakukan Blasting dan Dibandingkan dengan Standar

9. Alat Ukur WFT (*Wet Film Thickness*)
Digunakan untuk mengetahui tebal lapisan cat basah pada proses pengaplikasian lapisan *coating*.



Gambar 3.10 Alat Ukur WFT



10. Alat Ukur DFT (*Dry Film Thickness*)
Digunakan untuk mengetahui tebal lapisan kering cat pada permukaan substrat.



Gambar 3.11 Alat Ukur DFT

11. Peralatan Pengujian Kekuatan Adhesi (*Pull-Off Test*)
Digunakan untuk mengetahui besar kekuatan lekat material *coating* pada permukaan substrat.



Gambar 3.12 Peralatan Uji Kekuatan Adhesi

12. Peralatan Pengujian Morfologi (SEM)
SEM digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi Mikro lapisan *coating* apakah terjadi poros atau retak.



Gambar 3.13 Mesin Uji SEM

3.4 Bahan Penelitian

1. Bahan

Substrat sebagai bahan spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah ASTM A36 Grade B, sesuai tertera pada Tabel 3.2 Komposisi ASTM A36 . Plat yang digunakan dengan ketebalan 4 mm dengan ukuran sesuai dengan ketentuan penelitian (Tabel 3.3 Perancangan Percobaan), pemotongan dilakukan dengan *cutting tool* dan dilakukan penyelesaian akhir dengan gerinda. Setelah itu dilakukan persiapan permukaan sesuai dengan yang disyaratkan $Sa\ 2\frac{1}{2}$ sebelum dilapisi dengan berbagai variasi penambahan pelarut. Bahan cat yang digunakan adalah *organic coating solvent base* yang berfungsi *Barrier protection*, dengan komposisi sesuai pada Tabel 3.1 dan Komposisi Kimia ASTM A36 Grade-B. Dalam aplikasi dilakukan variasi penambahan solvent 0%, 10%, 20% diaplikasi dengan *conventional spray*. Tebal lapisan berbeda-beda yaitu 50, 100, 150, 200, 250 mikron sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian. Pengukuran ketebalan dilakukan pada waktu basah (WFT) dan setelah kering (DFT). *Coating* diaplikasi pada kondisi atmosfer dan kelembaban yang cukup.



Sebelum melakukan aplikasi dilakukan penamaan dari setiap sampel contoh A101001 atau B10100, untuk sampel pengujian nilai daya lekat (*Adhesion Test*) menggunakan kode A, untuk sampel pengujian *tingkat blistering* menggunakan kode B, untuk sampel pengujian ketahanan korosi menggunakan kode R. 2 angka pertama pada penamaan sampel adalah jumlah komposisi penambahan pelarut, 3 angka selanjutnya adalah ketebalan DFT yang diinginkan, dan bila ada angka terakhir merupakan sampel pengulangan yang dilakukan, penjelasannya terdapat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Contoh Sampel Pengujian Sembur Garam dan Penamaan Sampel

Tabel 3.1 Komposisi Kimia ASTM A 36 Grade-B

Spesimen	C %	Mn %	P %	S %	Si %.
ASTM A 36 Grade B	0.26	1.20	0.04	0.05	0.04



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

Tabel 3.2 Sifat Mekanik ASTM A 36 Grade-B

Spesimen	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Yield Point</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (min %)
ASTM A 36 Grade B	400-550	250	20

Tabel 3.3 Perancangan Penelitian

Deskripsi		Water Vapor Transmission	SEM	Immers	Salt Spray	Adhesion
Standard		ASTM D-1653	-	ASTM D-714	ASTM D-610	ASTM D4541
Ukuran Sampel (mm)		50x50x3	10x10x3	150x100x3	150x100x3	1150x100x3
Pelarut (%)	DFT (mikron)					
0	50	-	-	1	1	3
	100	-	-	1	1	3
	150	-	-	1	1	3
	200	-	-	1	1	3
	250	3	1	1	1	3
10	50	-	-	1	1	3
	100	-	-	1	1	3
	150	-	-	1	1	3
	200	-	-	1	1	3
	250	3	1	1	1	3
20	50	-	-	1	1	3
	100	-	-	1	1	3
	150	-	-	1	1	3
	200	-	-	1	1	3
	250	3	1	1	1	3



2. Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan NaCl 3,5% dengan komposisi NaCl 35,65 gram serbuk dan dilarutkan ke dalam 1 liter aquades.

3. Material *Coating*

Pada penelitian yang dilakukan material *coating* yang digunakan adalah *epoxy* dari produsen Jotun dengan jenis *Penguard Primer* dengan menggunakan komponen A sebagai Binder dan komponen B sebagai Curing Agent. Pelarut (*Solvent*) menggunakan *Thinner* Jotun No. 17. Berikut adalah spesifikasi dari komponen A *Penguard Priemer*, komponen B *Penguard Primer* dan *Thinner* Jotun No.17.

Tabel 3.4 Komposisi Cat *Epoxy* Komponen A (*Penguard Primer*)

Nama Bahan	%
<i>epoxy resin (MW 700-1200</i>	10-25
<i>Xylene</i>	10-25
<i>n-butanol</i>	2,5-10
<i>Solvent Naptha,light arom</i>	2,5-10
<i>Etil Benzen</i>	2,5-10
<i>Propilen glikol monometil eter</i>	2,5-10

Tabel 3.5 Komposisi Cat *Epoxy* Komponen B (*Penguard Primer*)

Nama Bahan	%
<i>Polyethylenepolyamines</i>	50-74
<i>Xylene</i>	20-24
<i>Ethylbenzene</i>	3-6
<i>Amines,</i> <i>polyethylenepolytriethylenepoly-,</i> <i>triethylenetetramine</i>	0,25-1



Tabel 3.6 Komposisi Pelarut (*Thinner* Jotun No.17)

Nama Bahan	%
<i>Solvent naptha (petroleum), light aromatic</i>	50-100
<i>Xylene</i>	10-25
<i>Butan-1-ol</i>	10-25
<i>Ethylbenzene</i>	2,5-10

3.5 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa prosedur yang harus dilakukan yaitu :

3.5.1 Preparasi Substrat

1. Persiapan Permukaan

Setelah dipotong, permukaan dari baja karbon dibersihkan terlebih dahulu sebelum *coating*, standard yang digunakan adalah *SSPC (Steel Structures Painting Council)*. Tahap pekerjaan pembersihan adalah sebagai berikut:

- Pembersihan permukaan dari karat, *mill scale* dan pengotor lain dengan *hand tool cleaning* dan *power tool cleaning*, dan kemudian dilanjutkan dengan pembersihan *slag*, *spatter*, atau *scrap* hasil pemotongan sesuai dengan standard *SSPC SP3*
- Perlakuan *degreasing* untuk menghilangkan minyak, debu dan pengotor yang menempel dengan menggunakan air sabun dan kemudian dikeringkan (*SSPC SP1*).
- Pemblastingan sesuai dengan standard *SSPC SP 10 (near white blast cleaning)* dilakukan dengan aluminium oxide berbentuk kristal sampai



mendapatkan nilai $Sa\ 2\frac{1}{2}$. Dan menghasilkan kekasaran permukaan 30-85 mikron sesuai ISO 8503.

2. Pengecekan Kondisi Lingkungan

Hal ini dilakukan untuk memastikan keadaan lingkungan saat aplikasikan *coating* sesuai dengan rekomendasi dari *manufacturing*, prosedur ini mengambil dari salah pelatihan sertifikasi inspeksi *coating*. Dimana tahapannya adalah :

- Pengukuran, pemeriksaan dan pencatatan temperature udara menggunakan Alat *Sling Psychrometer*, dan temperatur permukaan plat dengan *magnetic surface thermometer*.
- Pengukuran, periksa dan catat kelembaban udara dengan *digital electronic hygrometer* (RH (*Relative Humidity*) yang diperbolehkan maksimal 85%)
- Pengukuran, pemeriksaan dan Pencatatan *dew point* dan *dew point* yang direkomendasikan haruslah 3°C diatas temperatur permukaan pelat atau *substrat*.

3. Proses Aplikasi *Coating*

Proses pelapisan / pengaplikasian cat dilakukan dengan menggunakan *conventional spray* hingga dicapai *Wet Film Thickness (WFT)* yang diinginkan. Alat *conventional spray* harus memiliki ukuran *nozzle tip* 0.46 - 0.58 mm (0.018-0.023") dan memastikan udara yang dihasilkan bersih menggunakan *blotter test*. Spray yang dilakukan memiliki sudut aplikasi 40-80°. Pengujian ketebalan basah menggunakan *WFT gauge* sesuai dengan standar ASTM D4414 dan ketebalan kering menggunakan *DFT electromagnetic gauge* sesuai dengan standar ASTM D1186.



3.5.2 Preparasi Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada pengujian kali ini adalah NaCl 3,5% sesuai dengan kondisi lingkungan air laut sesungguhnya. Untuk didapatkan NaCl 3,5% dengan mempersiapkan bahan NaCl serbuk yang dilakukan penimbangan sebesar 35,56 gram untuk setiap 1000 ml aquades.

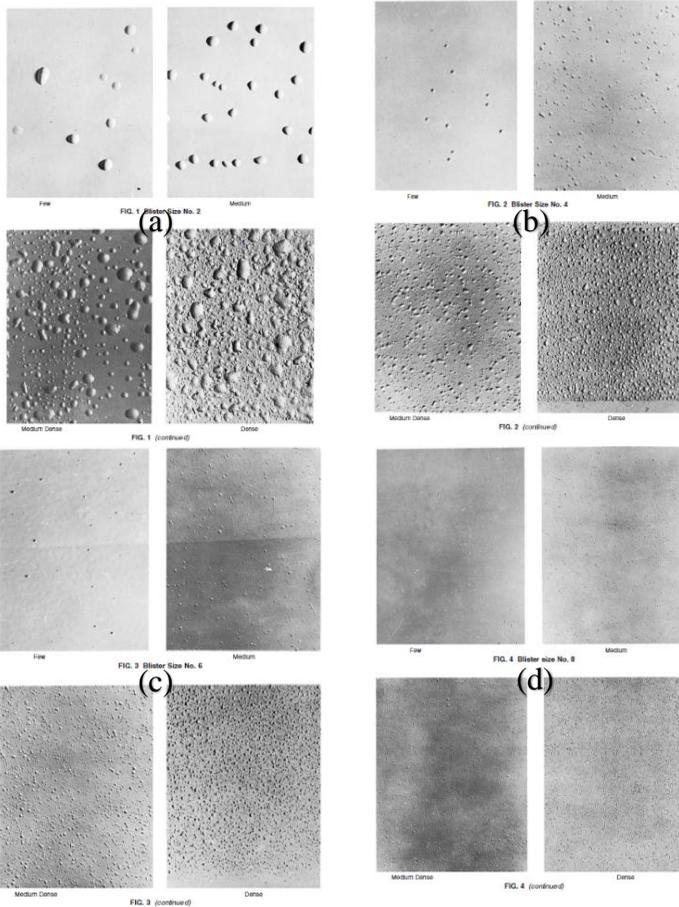
3.5.3 Pengujian *Immers*

Pengujian *immers* bertujuan untuk mengetahui kualitas *coating* terhadap garam yaitu NaCl 3,5%. Metode yang digunakan tanpa *scratch*. Pengecekan dilakukan setelah sampel di *immers* selama 14 hari dan hasil pengecekan dilakukan perbandingan. Perbandingan yang dilakukan dengan standar ASTM D714 "*Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints*". Dari standar tersebut terdapat tingkatan pelepasan yang terjadi pada cat. Pengecekan kemudian dilakukan dengan membandingkan foto antara yang ada di standar dengan hasil dan menggolongkan hasil tersebut sesuai tingkatan pelepasan (*Blistering*) yang terjadi.



Gambar 3.15 Proses *Immersion Unscratch* selama 14 hari

Tabel 3.6 Evaluasi *Rusting* ASTM D1654



Gambar 3.15 Tingkatan *Blistering* yang Dapat Terjadi pada Permukaan dengan Ukuran (a) No 2, (b) No 4, (c) No 6, dan(d) No 8

3.5.4 Pengujian Sembur Kabut Garam

Pengujian sembur kabut garam (*Salt Spray*) dilakukan untuk mengetahui sifat ketahanan korosi dari lapisan cat. Metode yang digunakan pada pengujian menggunakan metode



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

scratch, dengan menggores lapisan cat, dengan tujuan untuk melihat pelebaran kerusakan cat yang mengacu pada ASTM B117 “*Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*”.

Pengujian dilakukan menggunakan kabut garam yang berasal dari larutan NaCl 3,5%. Saat pengujian, sampel diletakkan sedemikian rupa agar semua sampel dapat terkena semburan kabut garam.

Sebelum dilakukan pengujian ini dilakukan pembersihan permukaan sebelum dimasukkan ke dalam wadah, permukaan juga digorekan menggunakan *tool steel* dengan lebar kurang lebih 1 mm. yang hasil setelah digoreskan dihitung menggunakan *measuring microscope*. Pengecekan secara visual dan dokumentasi dilakukan setiap 24 jam dan dilakukan pengecekan menggunakan *measuring microscope* kembali setelah 96 jam dengan membandingkan hasil pengecekan yang didapatkan. Perbandingan dilakukan menggunakan standar ASTM D1654 “*Standard Test Method for Evaluation of Painted and Coated Specimens Subjected to Corrosive Enviroments*” dimana terdapat tabel yang menunjukkan tingkat korosifitas dari lapisan cat.



Gambar 3.16 Proses Pengujian Sembur Garam

Tabel 3.7 Komposisi Pelarut (*Thinner Jotun No.17*)

<i>Rating Of Failure at Scribe</i>	
<i>Representative Mean Creepage From Scribe</i>	
<i>Milimetres</i>	<i>Rating Number</i>
Zero	10
Over 0 to 0,5	9
Over 0.5 to 1.0	8
Over 1.0 to 2.0	7
Over 2.0 to 3.0	6
Over 3.0 to 5.0	5
Over 5.0 to 7.0	4
Over 7.0 to 10	3
Over 10 to 13	2
Over 13 to 16	1
Over 16 to more	0



3.5.5 Pengujian *Water Vapor Transmission Rate*

Pengujian *water vapor transmission rate* ini dilakukan untuk mengetahui perambatan uap air yang melewati lapisan cat atau pelapis organik lainnya. Pengujian ini memiliki dua metode yang berbeda, yaitu metoda kering dan basah. Pada penelitian ini menggunakan metoda basah, yaitu metoda dimana suatu lapisan cat ditempatkan pada suatu wadah tertutup dengan temperature yang tetap terjaga sekitar 25-27 °C dan humiditas relative sekitar 90-95%. Ketebalan lapisan cat adalah 50, 100, 150, 200, dan 250 mikron dan luas daerah uji adalah sebesar 78.5cm². Pengukuran dilakukan pada pertambahan berat yang terjadi di lapisan cat. Pengukuran terhadap berat dilakukan setiap 24 jam sekali selama satu minggu. Selain itu pengukuran juga dilakukan pada *humiditas relative* pada sumber uap dan humiditas pada permukaan lapisan cat. Pada standar ASTM D1653, dari pengukuran tersebut maka akan didapat nilai transmisi uap air (*wvt*) pada lapisan cat, lalu dengan membagi nilai *wvt* dengan perbedaan tekanan ΔP antara dua sisi lapisan maka didapat nilai permeabilitas cat terhadap air (*wvp*). Perhitungan permeabilitas lapisan cat menggunakan rumus pada standar ASTM D1653.



Gambar 3.17 Proses Pengujian *water vapor transmission rate*



3.5.6 Pengujian SEM

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui bentuk pori dan penyebarannya di *coating*, serta bentuk ikatan antara *coating* dengan *substrat* baja. Sementara pengamatan ini mengacu pada buku manual dari alat SEM. Berikut ini merupakan tahapan untuk pengamatan struktur mikro:

- Pemotongan sample menggunakan gergaji potong.
- Pembuatan *mounting* pada sampel untuk memudahkan memegang sampel pada saat pengerjaan berikutnya.
- Pengamplasan permukaan sampel menggunakan kertas amplas dengan grit 1200, 1500, dan 2000.
- Pemolesan permukaan sampel yang telah rata dan halus dengan menggunakan kain poles berupa beludru spesial yang ditujukan agar lapisan cat tidak rusak.
- Pembilasan permukaan sampel dengan air kemudian mengeringkannya dengan alat pengering.
- Perlakuan *coating* tambahan pada sampel yang telah dimounting. Hal ini dilakukan karena lapisan cat bersifat tidak konduktif, sehingga bila tidak dilakukan *coating* maka tidak dapat terdeteksi oleh *Scanning Electron Microscope (SEM)*
- Pengamatan permukaan sampel dan memfoto daerah struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik.
- Pengamatan struktur mikro serta menguji komposisi pada daerah *void* / pori yang terbentuk dengan menggunakan SEM.



3.6 Rancangan Pengambilan Data Penelitian

Untuk memudahkan dalam mengolah dan menganalisa data yang didapat, maka dibuat rancangan percobaan sebagai berikut :

Tabel 3.8 Tabel Pengujian *Water Vapor Transmission Rate*

Komposisi Pelarut	Ketebalan(DFT) (mikron)	Waktu (Hari)	W _o (gr)	W _a (gr)	ΔW(gr)	
0%	50	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
	100	100	1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			6			
			7			
	150	150	1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			6			
			7			
	200	200	1			
			2			
			3			
			4			
			5			
			6			
			7			
250	250	1				
		2				

Laporan Tugas Akhir

Jurusan Teknik material dan Metalurgi



		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
10%	50	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
	100	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
	150	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
	200	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
250	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
20 %	50	1				



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
		100	1		
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	150	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
	200	1			
		2			
		3			
		4			
		5			
		6			
		7			
	250	1			
2					
3					
4					
5					
6					
7					



Tabel 3.9 Tabel Pengujian Kekuatan Daya Lekat

Komposisi Pelarut	Ketebalan(DFT) (mikron)	Kekuatan Adhesi (MPa)	Rata-Rata (MPa)
0%	50		
	100		
	150		
	200		
	250		
10%	50		
	100		
	150		
	200		
	250		
20 %	50		
	100		



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

	150		
	200		
250			



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Daya Lekat

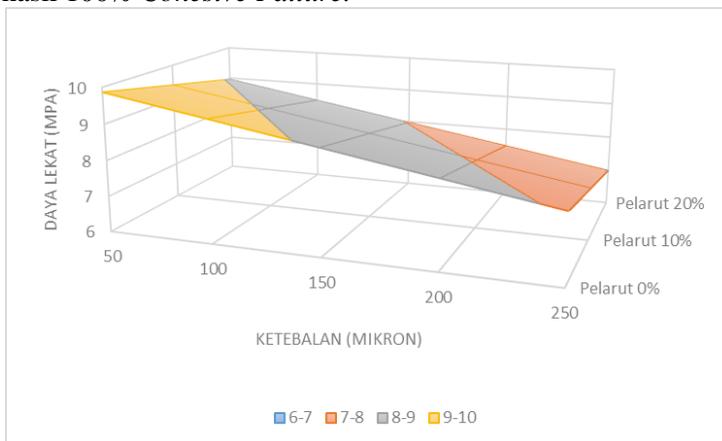
Dalam uji daya lekat atau *adhesion test* yang telah dilakukan diketahui daya lekat lapisan epoksi primer dipengaruhi oleh komposisi penambahan pelarut (0%, 10 %, dan 20%) dan ketebalan dari cat epoksi primer. Sebelumnya dilakukan pengujian DFT (*Dry Film Thickness*) pada lapisan untuk mengetahui ketebalan pada daerah sampel. Pengujian DFT (*Dry Film Thickness*) dilakukan pada tiga titik dipermukaan sampel seperti pada Lampiran C. Semua sampel sebelum dilakukan aplikasi *coating*, dilakukan perhitungan ketebalan saat kondisi basah (*Wet Film Thickness*) sesuai perhitungan dan data pada Lampiran B untuk dapat menghasilkan DFT yang diinginkan.

Untuk mendapatkan nilai dari daya lekat yang baik, dilakukan preparasi dengan pembersihan lapisan *coating* dari *dust* dan kontaminan, serta dilakukan penempelan *pin dolly* satu hari sebelum dilakukan pengujian daya lekat. Dalam pengujian ini dilakukan sesuai standar ASTM D-4541 dan didapatkan hasil grafik *surface* seperti pada Gambar 4.1, yang merupakan grafik hasil dari perhitungan *multiple regression* menggunakan *Software Microsoft Excel 2013*. Penjelasan perhitungan *multiple regression* terdapat pada Lampiran K.

Dari analisa grafik menunjukkan bahwa daya lekat terbaik saat ketebalan 50 mikron dengan tanpa penambahan pelarut atau komposisi pelarut 0%. Dan yang terendah terdapat pada komposisi pelarut 20% dengan ketebalan 250 mikron. Hal tersebut dikarenakan adanya pori pada komposisi pelarut terbanyak yaitu 20% serta semakin tebalnya cat mengakibatkan pori tersebut menjadi lebih banyak. Jumlah dan besarnya pori ditunjukkan pada Subbab 4.3 pengujian morfologi menggunakan SEM.



Selanjutnya dilakukan pengelihatian secara visual dari hasil pengujian daya lekat kerusakan terjadi pada daerah *cohesive failure* (Ikatan cat-cat) bukan *adhesive failure* (Ikatan cat-substrat). Hal ini menandakan terjadinya *mechanical interlocking* antara *coating* dengan substrat yang baik. Selain itu penyebab terjadinya *cohesive failure* dikarenakan adanya pori yang membuat *bonding* (ikatan) dalam cat menurun. *Mechanical interlocking* ini terjadi karena proses persiapan permukaan dilakukan terbebas dari kontaminan dan kekasaran serta kebersihan dengan perlakuan blasting menggunakan alumunium oxide dengan ukuran 24 mesh menghasilkan kekasaran permukaan 64 mikron dengan kebersihan SA 2 $\frac{1}{2}$. Selain itu hal ini disebabkan ikatan *crosslinking* yang terdapat pada *coating* lebih rendah daripada ikatan yang terjadi antara substrat dengan *coating*. Gambar hasil visualisasi terdapat pada Lampiran D dan contoh terlihat pada Gambar 4.2 Hasil Visualisasi Pengujian Daya Lekat Sampel A20150 1, dengan hasil 100% *Cohesive Failure*.



Gambar 4.1 Grafik *Surface* Daya Lekat terhadap Variasi Ketebalan dengan Komposisi Pelarut



Gambar 4.2 Foto Hasil Pengamatan Visual Daya Lekat Sampel A20150 1

4.2 Pengujian Daya Lekat Immersion 3,5% NaCl selama 14 Hari

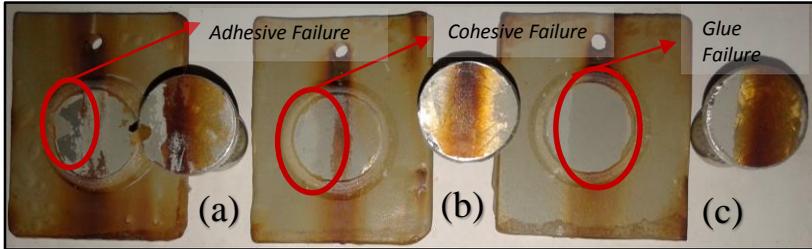
Uji daya lekat atau *adhesion test* setelah diaplikasikan pada NaCl 3,5% dengan metode *immersion* atau celup dilakukan untuk mengetahui perubahan daya lekat lapisan epoksi primer yang dipengaruhi oleh komposisi penambahan pelarut 0%, 10 %, dan 20%. Pengujian ini dilakukan pada spesimen hasil immersion NaCl 3,5% pada sampel B00100, B10100, B20100 untuk pengujian tingkat *blistering* yang penjelasannya terdapat pada Subbab 4.4 Pengujian *Blistering*. Dan dari pengujian ini didapatkan visual seperti pada Gambar 4.3. Nilai daya lekat berdasarkan standar ASTM D-4541 didapatkan sesuai pada tabel 4.1 dan hasil pengamatan visual dengan mengevaluasi kerusakan yang terjadi terdapat pada tabel 4.2.

Dari hasil data yang dianalisa, didapatkan bahwa semakin banyak penambahan pelarut dapat menurunkan sifat



daya lekat *coating* pada substrat. Pada sampel B20100 memperlihatkan adanya *adhesive failure* yang dimana pengujian sebelum di *immersion* menyatakan keseluruhan sampel pengujian daya lekat *cohesive failure*. Hal ini disebabkan adanya kontaminan yang masuk ke dalam *coating* mengakibatkan ikatan pada *coating* dengan substrat menurun dan 30% terjadi *failure* (kerusakan). Kontaminan memasuki *coating* ditandai dengan terjadinya *blistering* (pelepuhan) yang diperlihatkan pada Subbab 4.4 Pengujian Tingkat Blistering dengan metode *immersion* NaCL 3,5%. Dan dari penambahan pelarut memperlihatkan adanya perambatan kontaminan yang masuk dengan terlihat dari penurunan daya lekat dan daerah *failure* yang terjadi. Kontaminan tersebut merupakan uap air yang memiliki besar molekul yang sangat kecil. Menurut (Liu, 2014) *blistering* tersebut disebabkan adanya kehilangan atau/dan berkurangnya nilai daya lekat *coating* terhadap *interface* dari substrat yang disebabkan adanya kontaminan atau/dan korosi pada daerah *interface* tersebut. Hal tersebut dapat dipercepat dengan adanya kontaminan pada daerah *interface* substrat dengan *coating*. Selain itu disebutkan pula bahwa proses terjadinya *blistering* diawali dengan adanya udara kosong atau daya lekat yang paling rendah dan mengakibatkan kontaminan masuk kedalamnya.

Dari penjelasan diatas, didapatkan bahwa kontaminan ini dapat masuk ke dalam *coating* disebabkan adanya pori pada *coating*. Keberadaan pori ini mengakibatkan kecepatan daya serap uap air meningkat yang dijelaskan pada Subbab 4.6 Pengujian *water vapor transmission rate*. Kecepatan uap air merambat pada cat tersebutlah yang menyebabkan daya lekat menurun lebih cepat daripada komposisi pelarut 20%.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Daya Lekat dan Pengamatan Visual pada ketebaan 100 mikron setelah dilakukan *immersion* selama 14 hari (a)20, (b)10, dan (c)0%

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Daya Lekat seteah 14 hari masa *immersion* NaCl 3,5%

	Komposisi Pelarut (%)	Nilai Daya Lekat (MPa)
(a)	20	3.17
(b)	10	4.94
(c)	0	5.49

Tabel 4.2 Hasil Pengamatan Visual Daya Lekat seteah 14 hari masa *Immersion*

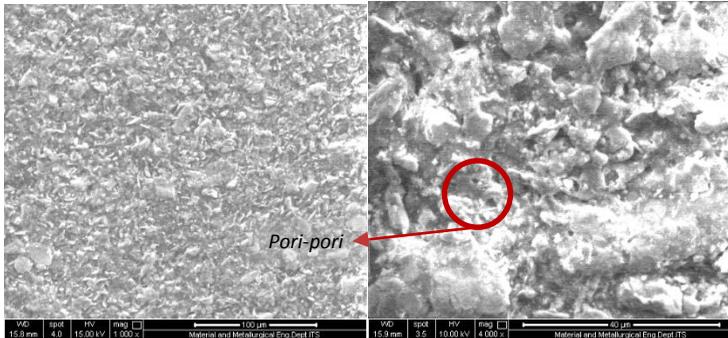
	Keterangan		
	<i>Adhesive Failure</i>	<i>Cohesive Faliure</i>	<i>Glue Failure</i>
(a)	30 %	60 %	10 %
(b)	10 %	80 %	10 %
(c)	0 %	70 %	30 %



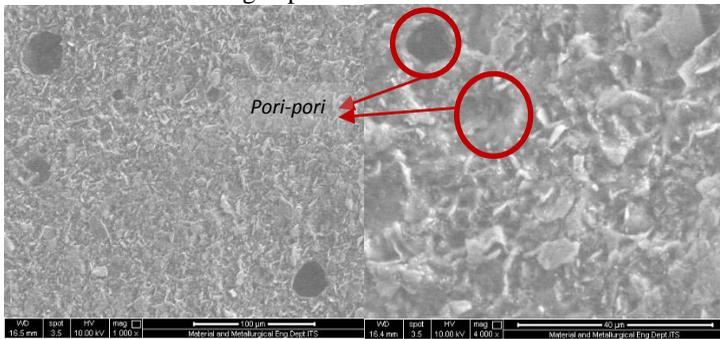
4.3 Pengujian Morfologi

Berdasarkan hasil pengujian morfologi menggunakan SEM. Pengujian morfologi dilakukan dengan menggunakan tiga sampel yaitu, komposisi penambahan pelarut 0%, 10%, dan 20 % dengan perbesaran 1000x dan 4000x didapatkan Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan 4.6. Ketiga gambar tersebut merupakan morfologi hasil pengujian menggunakan SEM.

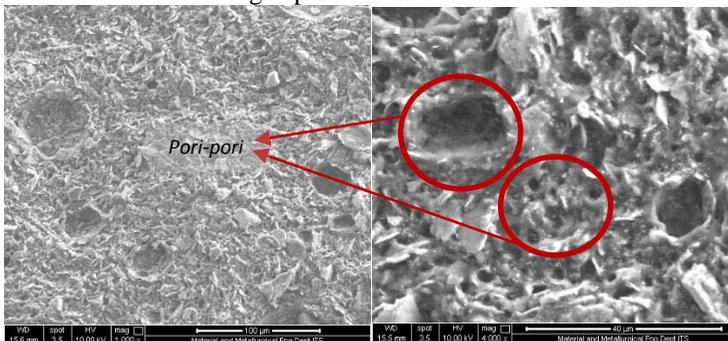
Pada hasil pengamatan SEM dari gambar-gambar di bawah diketahui bahwa penambahan pelarut ternyata menyebabkan adanya pori-pori. Pada Gambar 4.4 terlihat adanya pori namun sangatlah kecil dengan persebaran yang merata. Pada penambahan pelarut 10% terdapat adanya pori yang berbeda dengan ukuran yang lebih besar di beberapa bagian. Dan pada penambahan pelarut 20% memperlihatkan penambahan pori yang signifikan dengan persebaran pori yang cukup besar dan ada beberapa bagian yang terdapat pori sangatlah besar daripada pori pada penambahan pelarut 10%. Dari analisa tersebut dapat dikatakan bahwa penambahan pelarut dapat menyebabkan adanya pori dan semakin besar penambahan pelarut mengakibatkan pori semakin besar karena proses penguapan dari *solvent* lebih lambat dari proses *crosslinking* pada epoksi itu sendiri menyebabkan pori itu terbentuk. Hal ini sesuai (Arda, 2012) semakin banyak penambahan pelarut mengakibatkan semakin banyak dan besar pori yang terbentuk.



Gambar 4.4 Hasil Pengujian SEM Komposisi Penambahan Pelarut 0% dengan perbesaran 1000 dan 4000x



Gambar 4.5 Hasil Pengujian SEM Komposisi Penambahan Pelarut 10% dengan perbesaran 1000 dan 4000x



Gambar 4.6 Hasil Pengujian SEM Komposisi Penambahan Pelarut 20% dengan perbesaran 1000 dan 4000x



4.4 Pengujian *Blistering* dengan Metode *Immersion* NaCL 3,5%

Pengujian pencelupan atau *immersion* dengan metode *unscratch* dilakukan selama 14 hari untuk mengetahui kualitas *coating* berdasarkan tingkat *blistering* yang terjadi. Blister muncul karena adanya air yang terperangkap dalam lapisan dimana air dapat masuk ke pori-pori lapisan dan akhirnya akan terbentuk suatu pembengkakan dan membentuk *blister*. Untuk mengetahui seberapa parah kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh *blister* dapat dilakukan dengan mengukur tingkat *blister* yang terjadi. Pengukuran ini dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian dengan standar ASTM D714 “*Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints*”. Menurut standar dikatakan bahwa terdapat beberapa tingkatan ukuran dan jumlah *blister* yang ada. Tingkatan ukuran *blister* sendiri dimulai dari skala sepuluh hingga nol dimana pada ukuran sepuluh menandakan tidak adanya *blister* pada permukaan. Kemudian untuk tingkatan jumlah *blister* ditandai mulai dari *few* (sedikit), *medium* (sedang), *medium dense* (cukup banyak), hingga *dense* (banyak sekali). Tingkatan *blister* yang dapat terjadi pada permukaan ditunjukkan pada Gambar 4.7 Tingkatan *Blister* yang Dapat Terjadi pada Permukaan dengan Ukuran (a) No 2, (b) No 4, (c) No 6, dan (d) No 8.

Untuk menganalisa dilakukan perbandingan standar dengan hasil pengujian untuk diketahui seberapa besar tingkat *blistering* yang terjadi. Dari foto visual pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10 dan dibandingkan dengan Gambar 4.7 dengan memberikan tanda (lingkaran merah merupakan *blistering*) seperti pada Gambar 4.8

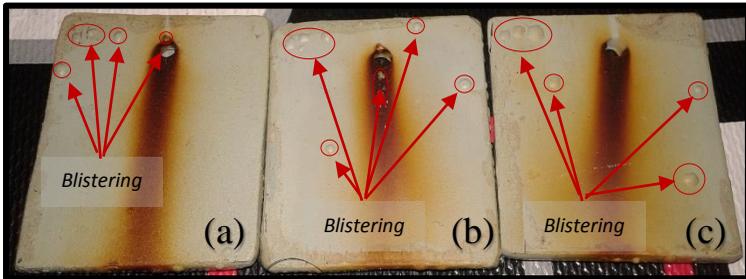


Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

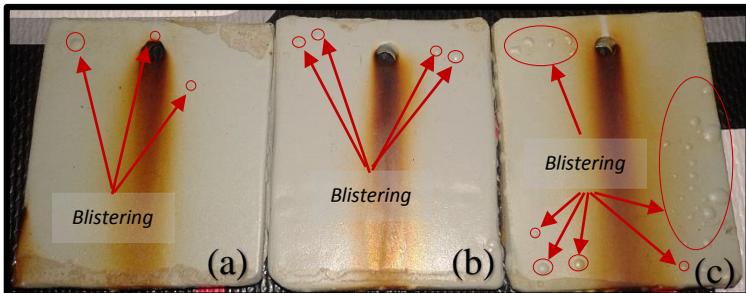
hingga Gambar 4.10 dan hasil dari perbandingan didapatkan data sesuai pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengamatan Tingkat *Blistering* setelah 14 hari masa *Immersion* pada NaCl 3,5%

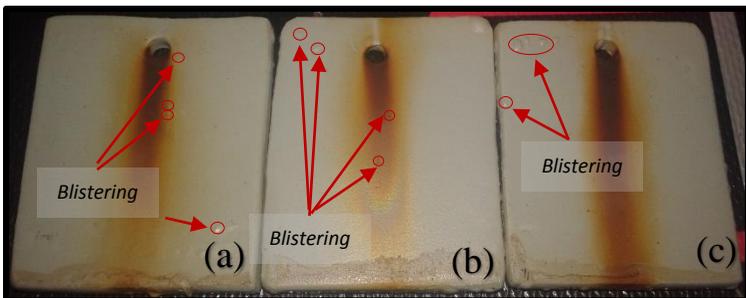
Ketebalan (DFT)	Komposisi Penambahan Pelarut	Rating	Jumlah
50 mikron	0%	2	Few
	10%	2	Few
	20%	2	Few
100 mikron	0%	4	Few
	10%	2	Few
	20%	2	Medium
150 mikron	0%	6	Few
	10%	4	Few
	20%	2	Few
200 mikron	0%	8	Few
	10%	6	Few
	20%	6	Few
250 mikron	0%	10	-
	10%	10	-
	20%	10	-



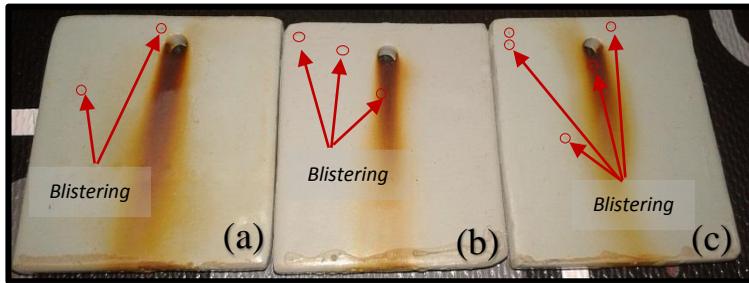
Gambar 4.8 Hasil Pengamatan Tingkat *Blistering* (a)0, (b)10, dan (c)20% pada ketebalan 50 mikron



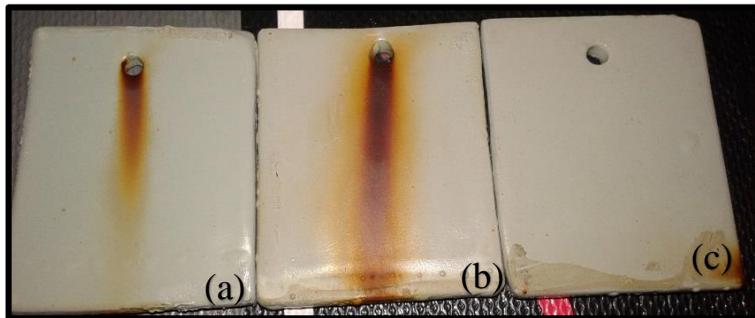
Gambar 4.9 Hasil Pengamatan Tingkat *Blistering* (a)0, (b)10, dan (c)20% pada ketebalan 100 mikron



Gambar 4.10 Hasil Pengamatan Tingkat *Blistering* (a)0, (b)10, dan (c)20% pada ketebalan 150 mikron



Gambar 4.11 Hasil Pengamatan Tingkat *Blistering* (a)0, (b)10, dan (c)20% pada ketebalan 200 mikron



Gambar 4.12 Hasil Pengamatan Tingkat *Blistering* (a)0, (b)10, dan (c)20% pada ketebalan 250 mikron

Dari penjelasan diatas melalui Tabel 4.3 Hasil Pengujian Daya Lekat setelah 14 hari masa *immersion* NaCl 3,5%, dengan membandingkan hasil visualisasi dengan standar didapatkan bahwa penambahan pelarut pada komposisi 20% memiliki tingkat *blistering* paling rendah dari setiap ketebalan. Selain itu didapatkan bahwa *blistering* tidak terjadi pada ketebalan 250 mikron dan terbanyak ada pada ketebalan 100 mikron. Dari keseluruhan perbandingan yang memiliki rating terendah atau paling mudah terjadi blistering ada pada sampel yang memiliki ketebalan 100 mikron dengan penambahan pelarut 20% mendapatkan rating 2 dengan jumlah medium. Dan tingkat *blistering* paling rendah terdapat pada sampel 250



mikron yang mendapatkan rating 10 atau tidak terdapat *blistering* selama 14 hari.

Osmotic Blister yang terjadi saat 14 hari di lingkungan *immersion* NaCl 3,5% disebabkan adanya uap air yang memiliki ukuran partikel yang sangat kecil menembus lapisan *coating* untuk mendapatkan kesetimbangan dan saat adanya kontaminan berbentuk garam baik di permukaan membuat tekanan *osmotic* akibat melewati lapisan yang *permeable* terus terjadi mengakibatkan terjadinya lepuhan atau *blister* dimana di dalam *blister* terdapat air hasil perpindahan melewati *coating* kecepatan uap air memasuki *coating* berdasarkan komposisi pelarut akan dibahas pada subbab 4.6 Pengujian Permeabilitas *Coating*. Penjelasan adanya kontaminan dijelaskan pada Subbab 4.2 Pengujian Daya Lekat Immersion 3,5% NaCl selama 14 Hari. Menurut (Petrie, 2011) faktor utama terjadinya *osmotic blistering* 1) Permeabilitas *coating* 2) Impermeabilitas Substrat 3) Konsentrasi air terlarut 4) Konsentrasi Gradient. Konsentrasi gradient merupakan kekuatan pendorong berupa tekanan osmosis untuk terjadinya *blistering*.

4.5 Pengujian Sembur Kabut Garam NaCl 3,5%

Berdasarkan hasil pengujian *salt spray* atau uji sembur garam selama 96 jam, didapatkan pertambahan lebar goresan *coating* primer. Pertambahan lebar goresan ini dihitung dengan memberikan tanda berupa empat buah titik (A, B, C, dan D) lalu mengukurnya pada *measuring microscope* sebelum dilakukan pengujian, setelah dilakukan pengujian selama 96 jam pada titik-titik yang sama dilakukan pengukuran kembali lebar goresan apakah mengalami pertambahan lebar akibat adanya lapisan yang rusak akibat terjadinya korosi yang melebar atau tidak. Penentuan nilai rating ini berdasarkan ASTM D-1654, dimana jika goresan tidak mengalami perubahan maka nilai rating dari cat tersebut adalah 10 (nilai tertinggi) sedangkan pelebaran yang terjadi besar maka nilai rating semakin rendah berikut adalah standar penilaian rating



Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

sesuai standar serta hasil pelebaran pada pengujian yang telah dilakukan setelah 72 jam.

Tabel 4.4 Data Pelebaran Sampel Pengujian Sembur Kabut Garam Metode *Scratch* beserta *Rating*

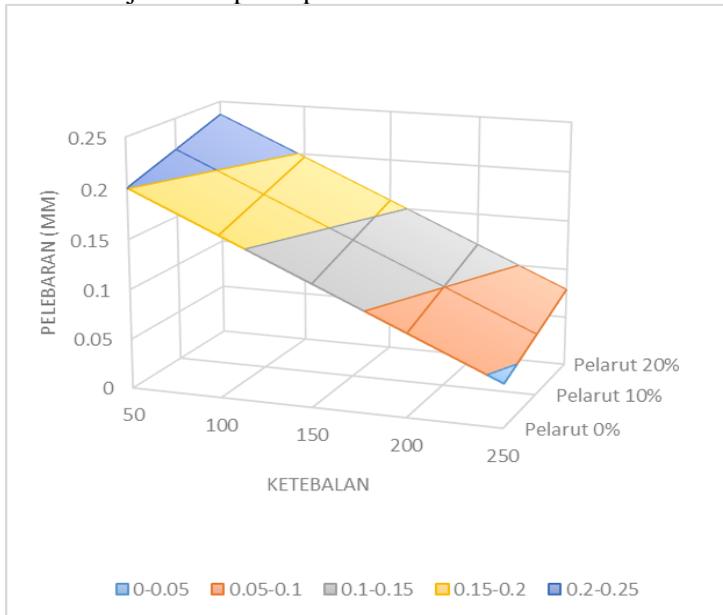
No.	Ketebalan Kering (Mikron)	Komposisi Pelarut	Rata-rata Perubahan Lebar	Rating
1		0%	0.302	9
2	50	10%	0.219	9
3		20%	0.235	9
4		0%	0.090	9
5	100	10%	0.151	9
6		20%	0.198	9
7		0%	0.118	9
8	150	10%	0.090	9
9		20%	0.188	9
10		0%	0.031	9
11	200	10%	0.110	9
12		20%	0.103	9
13		0%	0.092	9
14	250	10%	0.084	9
15		20%	0.087	9

Dari Tabel 4.4 bahwa jika pelebaran goresan yang terjadi sebesar 0 sampai 0,5 mm, maka sampel tersebut memiliki *rating* 9. Terlihat pada Tabel 4.5 bahwa pelebaran goresan yang terjadi tidak ada yang melebihi 0,5 mm bahkan pelebaran paling besar yang terjadi hanya sebesar 0,3 mm yaitu pada sampel dengan ketebalan 50 mikron tanpa penambahan pelarut. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa seluruh sampel memiliki *rating* 9 dimana tingkat korosifitas yang terjadi itu rendah. Sehingga dapat dikatakan bahwa kemampuan dari seluruh ketebalan dan perbedaan komposisi pelarut memiliki

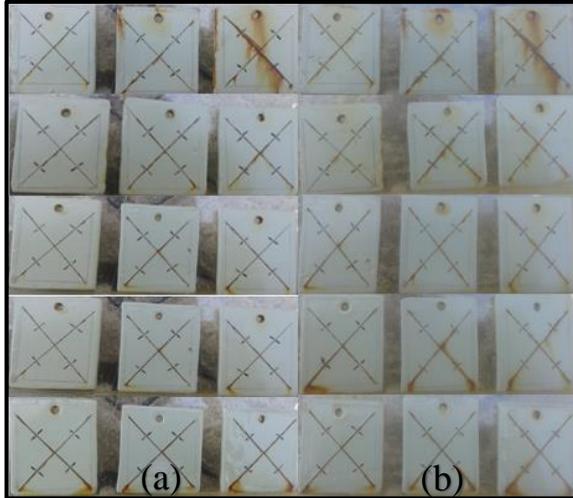


rating yang sama. Namun bila dilihat pada besarnya nilai perubahan lebar yang terjadi.

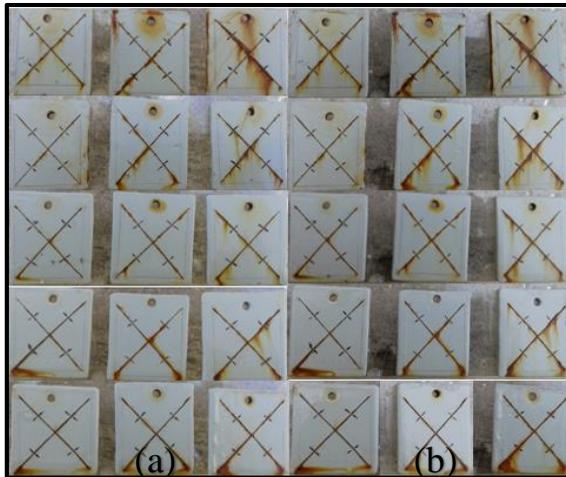
Gambar 4.5. Grafik *Surface* tersebut memperlihatkan pelebaran yang terbesar akibat lingkungan korosif yaitu pada ketebalan 50 mikron dengan komposisi pelarut 20%. Dan yang terendah terdapat pada ketebalan 250 mikron dengan komposisi pelarut 0%. Hal tersebut disebabkan elektrolit mampu meresap ke titik yang lebih dalam karena adanya pori seperti pada penjelasan subbab 4.3. Pada Gambar 4. dan Gambar memperlihatkan pelebaran yang terjadi setiap 24 jam selama 96 jam setiap sampel.



Gambar 4.13 Grafik Pelebaran Gores setelah dilakukan Uji Sembur Garam NaCl 3,5%



Gambar 4.14 Hasil Pengujian Sembur Garam NaCl 3,5% selama
(a) 24 jam (b) 48 jam



Gambar 4.15 Hasil Pengujian Sembur Garam NaCl 3,5% selama
(a) 72 jam (b) 96 jam



4.6 Pengujian *Water Vapor Transmission Rate*

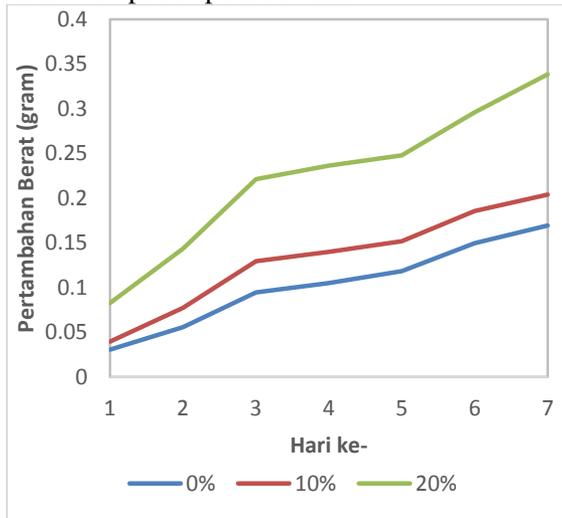
Berdasarkan hasil pengujian *Water Vapor Transmission Rate* berdasarkan standar ASTM D-1653 didapatkan hasil jumlah perubahan berat *coating* selama 7 hari dengan variasi komposisi pelarut 0, 10, dan 20% berturut-turut sebagai berikut, 0,7223 g, 0.927 g, dan 1,5561 g. Pada Gambar 4.14, menunjukkan pertambahan berat hasil pengujian *water vapor transmission rate* setiap sampel setiap harinya selama 7 hari. Untuk mendapatkan besar perambat uap air (WVT) dilakukan perhitungan seperti pada lampiran F, dengan hasil perambat berdasarkan perbedaan komposisi berturut-turut sebagai berikut, 0.12368 g/24jam. m², 0.15874 g/24jam. m², dan 0.26646 g/24jam.m² yang terlihat pada Gambar 4.15 Perambatan Uap Air (WVT) setiap sampel. Dari hasil tersebut terlihat bahwa penambahan komposisi pelarut 20% memiliki perambatan uap air yang paling tinggi karena yang dijelaskan pada subbab 4.3 Pengujian SEM terlihat adanya pori-pori yang membuat perambatan uap air semakin cepat, sedangkan komposisi penambahan pelarut 0% memiliki nilai kecepatan terendah dilanjutkan dengan penambahan komposisi pelarut 10%.

Dari pengujian ini sangat mempengaruhi pengujian-pengujian selanjutnya seperti pengujian tingkat *blistering*, pengujian daya lekat setelah dilingkungan *immersion* pada lingkungan NaCl 3,5%, dan pengujian sembur garam. Karena faktor inilah yang membuat penghalang dari *coating* baik atau tidak. Hal tersebut terlihat dari hasil pengujian tingkat *blistering* bahwa penambahan komposisi pelarut 20% memiliki pori yang besar mengakibatkan tingkat *blistering*nya rendah atau rentan terhadap lingkungan yang korosif, sesuai data hasil pengujian ini. Selain itu data pelebaran hasil lingkungan korosif menggunakan metode *scratch* juga memperlihatkan hasil yang sama penambahan komposisi pelarut 20% membuat *coating* tidak tahan terhadap lingkungan yang korosif. Dan nilai daya lekat setelah dilakukan *immersion* pada lingkungan

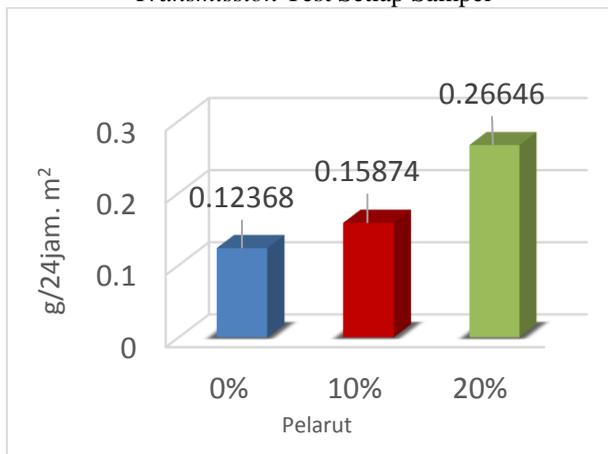


Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik material dan Metalurgi

NaCl 3,5% memperlihatkan nilai terendah ada pada penambahan komposisi pelarut 20%.



Gambar 4.16 Pertamabahan Berat Hasil Pengujian *Water Vapor Transmission Test* Setiap Sampel



Gambar 4.17 Laju Transmisi Uap Air (WVT) Setiap Sampel



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa hasil pengujian, maka dapat diambil suatu kesimpulan dari penelitian ini. Berikut kesimpulan yang didapat:

1. Dari pengujian daya lekat didapatkan variasi tanpa penambahan pelarut 0% atau tanpa penambahan pelarut dengan ketebalan 50 mikron memiliki nilai daya lekat tertinggi. Dan nilai daya lekat terendah didapatkan pada penambahan pelarut 20% dengan ketebalan 250 mikron. Hal ini dikarenakan terjadinya *cohesive failure* yang mengakibatkan pori yang terbentuk semakin besar dan banyak membuat ikatan (*bonding*) antar *coating* semakin rendah.
2. Dari pengujian tingkat blistering didapatkan ketebalan 250 mikron dengan variasi tanpa penambahan pelarut didapatkan tingkat blistering yang paling tinggi atau paling sulit terjadinya kerusakan *blistering*. Karena perambatan uap air melewati *coating* pada variasi tanpa penambahan pelarut atau 0% pelarut memiliki nilai yang paling rendah.
3. Dari pengujian morfologi menggunakan SEM didapatkan bahwa pori yang terbentuk akibat variasi penambahan pelarut 20% terdapat pori yang lebih besar dan tersebar merata daripada 10% dan 0%. Hal tersebut mengakibatkan perambatan uap air berbanding lurus besarnya terhadap besarnya penambahan pelarut.



5.2. Saran

1. Metode aplikasi cat menggunakan *airless spray* untuk mengurangi adanya pencegahan udara kotor yang masuk, membuat hasil sampel yang dihasilkan lebih baik
2. Proses preparasi sampel untuk melihat morfologi menggunakan SEM harus hati-hati karena sangat mempengaruhi analisa yang dilakukan.
3. Dilakukannya pengujian kandungan kontaminan pada daerah *interface* antara substrat dengan cat, seperti *finger print* atau garam sebelum pengujian tingkat bistering untuk mengetahui kecepatan terjadinya *blistering* salah satunya diakibatkan oleh kandungan kontaminan pada daerah tersebut

DAFTAR PUSTAKA

- _____.2002. **ASTM D4541. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.** Washington, DC: ASTM International.
- _____.2003. **ASTM B117. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.**Washington, DC: ASTM International.
- _____.2009. **ASTM D714. Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints.** Washington, DC: ASTM International.
- _____.2003. **ASTM D1653. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films.** Washington, DC: ASTM International.
- _____.1992. **ASTM D1654. Standard Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments.** Washington, DC.
- _____.2014. **Coating Inspector Muda.** Bandung: Corrosion Care Indonesia.
- _____.2012. **Coating Inspector Program Level 1 Student Manual.** USA: NACE CIP Committee.
- _____.2012. **Painting Manual Volume 1 & 2.** 8 Edition. Pittsburgh, PA: Systems and Specifications SSPC.
- Arda, Mohammad. 2012. **Studi pengaruh pelarut cat epoksi primer yang diaplikasikan pada substrat baja karbon rendah terhadap terbentuknya pori serta ketahanan korosi pada lingkungan NaCl 5%.** Depok: FT UI.
- Arman, Rahmad Budi. 2011. **Studi Kekuatan Adhesi dan Ketahanan Korosi dari Temporary Organic Coating Pada Pipa-Pipa API 5CT di Lingkungan Atmosfer Laut.** Depok: FT UI.
- Chamberlain, J.,Trethewey, KR. 1991. **Korosi.** Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Chamberlain, J.,Trethewey, KR. 1991. **Korosi.** Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama

- Drisko, Richard W and James F Jenkins. 2006. **Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control**. California: Elsevier Science and Technology Books
- Ellis, Bryan. 1993. **Chemistry and Technology of Epoxy Resins**. Netherlands: Springer.
- Felder, R. M., and G. S. Huvard. 1980. "Permeation, diffusion, and sorption of gases and vapors." **Methods of Experimental Physics Polymers**. New York: Academic Press.
- Forsgren, Amy. 2006. **Corrosion Control through Organic Coatings**. US: Taylor & Francis Group.
- González, ad. all. 2001. **Investigation of the corrosion resistance characteristics of pigments in alkyd coatings on steel**. Canary Islands, Spain: Department of Physical Chemistry, University of La Laguna.
- Harvianto, Diego P., dan Sulistijono. 2012. "**Pengaruh Komposisi Phenolic Epoxy terhadap Karakteristik Coating pada aplikasi pipa overhead debutanizer**". Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya.
- Havlik., ad. all. 2007. "Electrochemical, chemical and barrier action of zinc dust/anticorrosive pigments containing coatings." **J. Phys. Chem. Solids**, 68: 1101-1105
- Herbert, Winston Revie. 2008. **Corrosion and Corrosion Control**. 4th Edition. The United States of America: A John Wiley & Sons, Inc.
- Jones, L.W. 1992. **Corrosion and Water Technology for Water Producers**. 2nd Edition. Tulsa: OGCI Publications, Oil and Gas Consultant International Inc.
- Keijman, J.M. 1999. "Achieving Quality in Coatings Work: The 21st Century Challenge." **Proceeding Inorganic and Organic Coatings – The Difference**. England: The Brighton Centre.
- Koloske. Joseph V. **Paint and Coating Testing Manual 15th Edition**. US: ASTM International.

- Khanna, A.S. 2005. **Characteization, evaluating, and testing of organic paint coating**. Indian: Indian Institute of Technology Bombay.
- Liu, Bao-sheng. 2014. **Blistering failure analysis of organic coatings on AZ91D**. *Engineering Failure Analysis* (Elsevier) 231-239.
- Petrie, Edward M. 2011. "Osmotic Blisters in Coatings. "**metalfinishing** (www.metalfinishing.com):28.
- Rafferty, Kevin. 1989. **Geothermal District Piping-A primer**. Klamath Falls, Oregon: Geo Heat Center.
- Roberge, Pierre R. 2000. **Handbook of Corrosion Engineering**. The United States of America: McGraw-Hill Companies.
- Schweitzer, Philip A. 2006. **Paint and Coatings: Applications and Corrosion Resistance**. US: Taylor & Francis Group.
- Suratman, Rochim. 1996. **Dasar dasar Korosi**. Bandung: Teknik Mesin ITB
- Vincent, Louis D. 2010. **The Protecive Coating User's Handbook**. Texas: NACE International
- Wicks, Zeno Jones Frank, and Papas S. Peter.1999. "Organic Coatings. "**Science and Technology 2nd Edition**. Willey International.
- Wicks, Zeno ad all. (2007). **Organic Coatings Science and Technology Third Edition**. US: John Wiley & Sons, Inc.

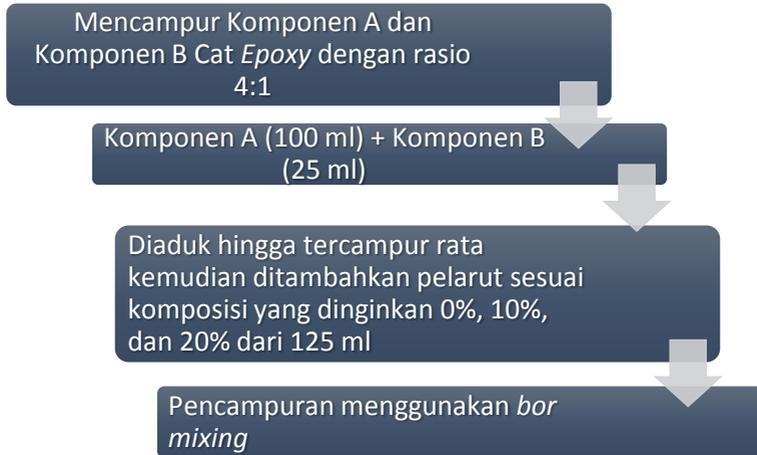
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN A

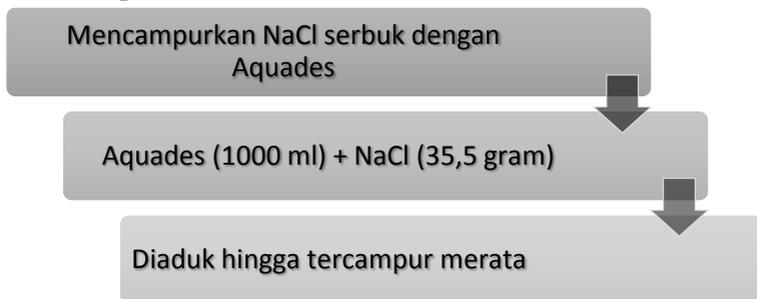
SKEMA KERJA

1. Proses pencampuran Cat *Epoxy* dengan penambahan pelarut



Gambar A.1 Diagram Alir Proses Pencampuran Cat *Epoxy* dengan Penambahan Komposisi Pelarut

2. Proses pembuatan elektrolit NaCl 3,5%



Gambar A.2 Diagram Alir Proses Pembuatan Elektrolit NaCl 3,5%



LAMPIRAN B

KOMPOSISI PENAMBAHAN PELARUT

Perhitungan *Wet Film Thickness* (WFT) berdasarkan *Dry Film Thickness* (DFT) yang diinginkan :

***Tanpa Penambahan Pelarut**

$$\text{WFT} = \frac{(\text{Dry Film Thickness}) \times 100}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

***Dengan Penambahan Pelarut**

$$\text{WFT} = \frac{(\text{Dry Film Thickness}) \times (100 + \text{Percent Pelarut})}{\text{Percent Solids by Volume}}$$

Dimana :

Dry Film Thickness (DFT) yang diinginkan :

- 50 mikron
- 100 mikron
- 150 mikron
- 200 mikron
- 250 mikron

Percent pelarut yang diinginkan :

- 0 %
- 10 %
- 20%

Percent Solids didapatkan dari TDS (Technical Data Sheet) Produk cat yaitu 51%

Berikut hasil perhitungan WFT sesuai DFT yang diinginkan, Alat Ukur. Dengan skala perbesaran WFT Measurement 25 mikron.

**Tabel B.1** Tabel Hasil Perhitungan WFT (*Wet Film Thickness*)

DFT yang diinginkan (mikron)	Perhitungan WFT berdasarkan komposisi penambahan pelarut (mikron)			Setelah dilakukan pembulatan dengan skala 25 mikron		
	0%	10%	20%	0%	10%	20%
50	98	108	118	100	100	125
100	196	216	235	200	200	225
150	294	324	353	300	325	350
200	392	431	471	400	450	475
250	490	539	588	500	550	600



LAMPIRAN C

HASIL PENGUJIAN DFT

- Sampel Pengujian Daya Lekat

Tabel C.1 Tabel Hasil Pengujian DFT (*Dry Film Thickness*) Sampel Uji Daya Lekat

No.	Ketebalan Kering yang diinginkan (Mikron)	Komposisi Pelarut	DFT (Mikron)	
1	50	0%	52.70	53.10
2			55.30	
3			51.30	
4		10%	51.40	51.50
5			51.90	
6			51.20	
7		20%	52.50	53.17
8			53.00	
9			54.00	
10	100	0%	108.00	101.87
11			97.60	
12			100.00	
13		10%	112.00	107.67
14			111.00	
15			100.00	
16		20%	67.90	83.67
17			92.40	
18			90.70	
19	150	0%	158.00	156.67



No.	Ketebalan Kering yang diinginkan (Mikron)	Komposisi Pelarut	DFT (Mikron)			
20		0%	160.00	112.83		
21			152.00			
22		10%	98.50			
23			120.00			
24			120.00			
25		20%	85.00		89.13	
26			102.00			
27			80.40			
28		200	0%		209.00	275.33
29					218.00	
30	247.00					
31	10%		216.00	220.33		
32			217.00			
33			212.00			
34	20%		202.00	225.33		
35			215.00			
36			211.00			
37	250		0%	319.00	275.33	
38		251.00				
39		256.00				
40		10%	203.00	220.33		
41			225.00			
42			233.00			
43		20%	231.00	225.33		
44			228.00			
45			217.00			



- Sampel Pengujian Salt Spray

Tabel C.2 Hasil Perhitungan DFT (*Dry Film Thickness*) Sampel Uji Salt Spray 3,5% NaCl

No	Komposisi Penambahan Pelarut		
	0%	10%	20%
1	66.9	52.9	66.9
2	105	99.3	73.3
3	156	134	112
4	194	200	285
5	252	252	245

**Satuan DFT adalah mikron*

- Sampel Pengujian Immers

Tabel C.3 Hasil Perhitungan DFT (*Dry Film Thickness*) Sampel Uji Immers 3,5% NaCl

No	Komposisi Penambahan Pelarut		
	0%	10%	20%
1	52.3	56	53.4
2	89.3	97	108
3	126	120	154
4	220	200	293
5	278	290	285

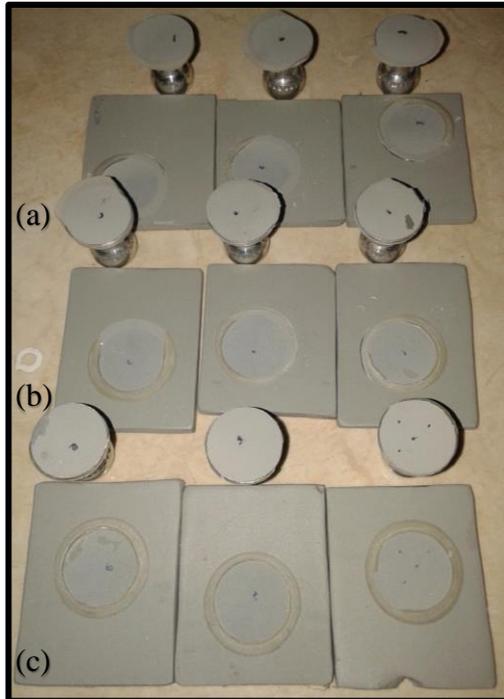
**Satuan DFT adalah mikron*



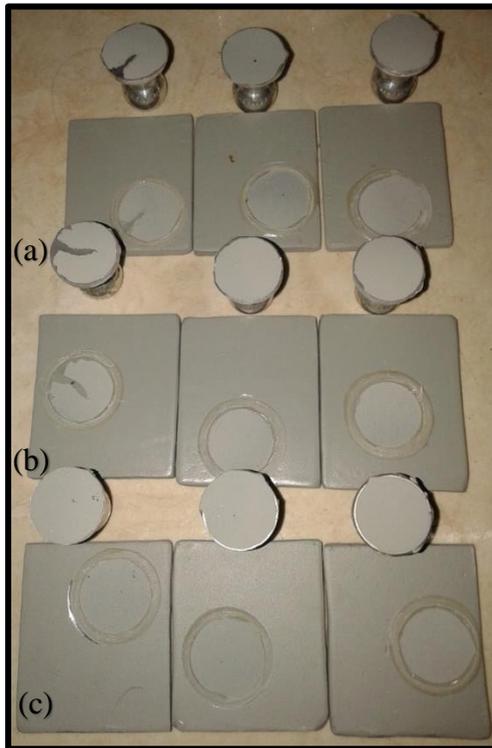
LAMPIRAN D

HASIL PENGUJIAN KEKUATAN DAYA LEKAT

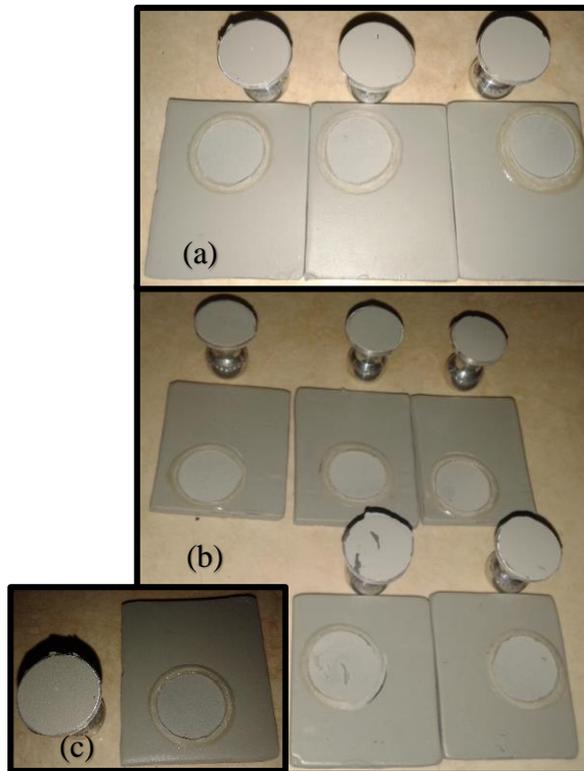
- Hasil Adhesion Test (50 mikron)



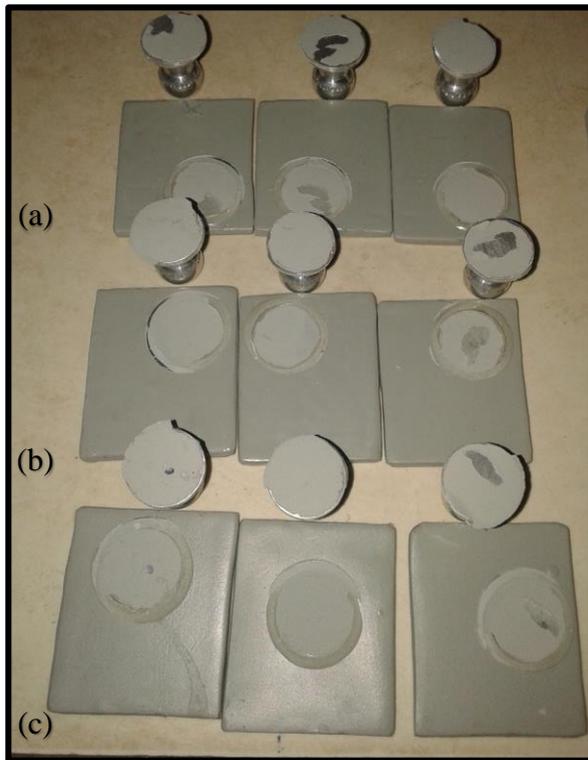
Gambar D.1 Pengamatan Visual Hasil Daya Lekat pada Ketebalan 50 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0, (b) 10, dan (c) 20%



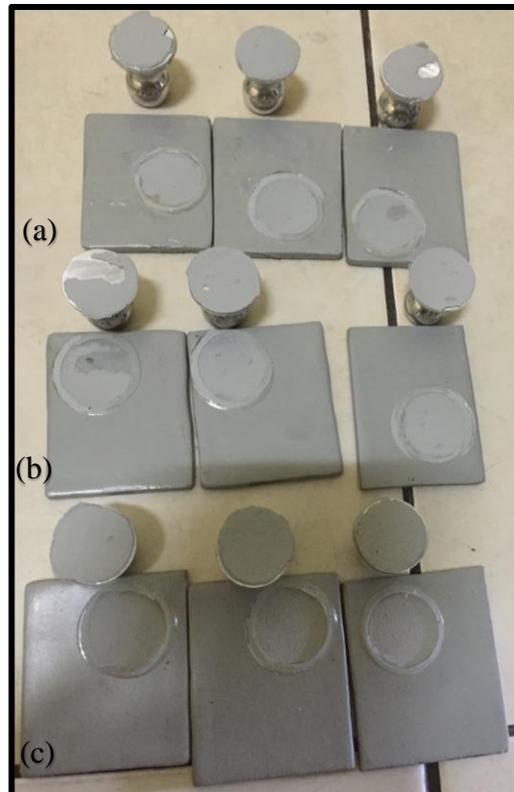
Gambar D.2 Pengamatan Visual Hasil Daya Lekat pada Ketebalan 100 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0, (b) 10, dan (c) 20%



Gambar D.3 Pengamatan Visual Hasil Daya Lekat pada Ketebalan 150 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0, (b) 10, dan (c) 20%



Gambar D.4 Pengamatan Visual Hasil Daya Lekat pada Ketebalan 200 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0, (b) 10, dan (c) 20%



Gambar D.5 Pengamatan Visual Hasil Daya Lekat pada Ketebalan 250 mikron dengan perbedaan komposisi pelarut (a) 0, (b) 10, dan (c) 20%



Tabel D.1 Hasil Pengujian Daya Lekat dan Pengamatan Visual

No.	Ketebalan Kering (Mikron)	Komposisi Pelarut	Nilai Daya Lekat (MPa)		Keterangan		
					Adhesion Failure	Cohesion Failure	Glue Failure
1	50	0%	10.6	9.88	0%	100%	0%
2			9.25		0%	100%	0%
3			9.79		0%	100%	0%
4		10%	11.74	9.5467	0%	100%	0%
5			8.82		0%	100%	0%
6			8.08		0%	90%	10%
7		20%	8.44	8.7267	0%	95%	5%
8			9.2		0%	100%	0%
9			8.54		0%	100%	0%
10	100	0%	84.4	34.907	0%	85%	15%
11			9.2		0%	100%	0%
12			11.12		0%	100%	0%
13		10%	5.92	7.2933	0%	80%	20%
14			7.46		0%	100%	0%
15			8.5		0%	100%	0%
16		20%	7.44	8.0967	0%	100%	0%
17			9.24		0%	100%	0%
18			7.61		0%	100%	0%
19	150	0%	12.32	10.71	0%	100%	0%
20			11.12		0%	100%	0%
21			8.69		0%	100%	0%
22		10%	8.21	9.4633	0%	100%	0%
23			9.21		0%	100%	0%
24			10.97		0%	100%	0%
25		20%	10.36	9.44	0%	100%	0%
26			8.18		0%	85%	15%
27			9.78		0%	100%	0%



No.	Ketebalan Kering (Mikron)	Komposisi Pelarut	Nilai Daya Lekat (MPa)		Keterangan		
					Adhesion Failure	Cohesion Failure	Glue Failure
28	200	0%	5.43	6.2767	0%	75%	25%
29			5.5		0%	70%	30%
30			7.9		0%	100%	0%
31		10%	6.93	6.6	0%	100%	0%
32			6.59		0%	100%	0%
33			6.28		0%	60%	40%
34		20%	7.35		0%	100%	0%
35			8.19	7.0567	0%	100%	0%
36			5.63		0%	75%	25%
37		250	0%	9.1	9.0333	0%	95%
38			9.15	0%		100%	0%
39			8.85	0%		80%	20%
40	10%		5.08	7.0233	0%	50%	50%
41			7.54		0%	95%	5%
42			8.45		0%	100%	0%
43	20%		8.31	7.4267	0%	100%	0%
44			6.93		0%	100%	0%
45			7.04		0%	100%	0%



LAMPIRAN E

HASIL PENGUJIAN SALT SPRAY

Tabel E.1 Hasil Pengujian Salt Spray

No.	Ketebalan Kering (Mikron)	Komposisi Pelarut	Titik	Lebar Awal	Lebar Setelah dilakukan pengujian sembur garam 72 jam	Perubahan Lebar	Rata-rata Perubahan Lebar	Rating
1	50	0%	A	382.9	1170.0	787.10	0.30	9
2			B	401.7	528.9	127.20		
3			C	279.5	524.9	245.40		
4			D	546	592.6	46.60		
5		10%	A	439	721.3	282.30	0.22	9
6			B	364.2	723.0	358.80		
7			C	465.2	639.5	174.30		
8			D	393.1	453.7	60.60		
9		20%	A	439.9	566.4	126.50	0.23	9
10			B	485.7	813.4	327.70		
11			C	455.3	702.7	247.40		
12			D	466	704.0	238.00		
13	100	0%	A	503.8	647.4	143.60	0.09	9
14			B	505	577.0	72.00		
15			C	611.4	681.2	69.80		
16			D	564.1	636.8	72.70		
17		10%	A	588.9	723.6	134.70	0.15	9
18			B	567.5	758.8	191.30		
19			C	458.9	651.5	192.60		
20			D	586.1	673.3	87.20		
21		20%	A	624.3	970.4	346.10	0.20	9



No.	Ketebalan Kering (Mikron)	Komposisi Pelarut	Titik	Lebar Awal	Lebar Setelah dilakukan pengujian sembur garam 72 jam	Perubahan Lebar	Rata-rata Perubahan Lebar	Rating
22		20%	B	822.5	1039.0	216.50		
23			C	649	700.8	51.80		
24			D	582.5	759.9	177.40		
25	150	0%	A	601.3	824.5	223.20	0.12	9
26			B	594.9	723.0	128.10		
27			C	730.5	828.8	98.30		
28			D	662.2	684.7	22.50		
29		10%	A	664.5	769.0	104.50	0.09	9
30			B	686.3	730.6	44.30		
31			C	657.5	771.9	114.40		
32			D	653.5	749.9	96.40		
33		20%	A	894.9	910.4	15.50	0.19	9
34			B	641.2	934.0	292.80		
35			C	670.1	924.4	254.30		
36			D	636.3	823.8	187.50		
37	200	0%	A	798.9	800.3	1.40	0.03	9
38			B	680.5	753.3	72.80		
39			C	855.6	877.9	22.30		
40			D	567.1	593.6	26.50		
41		10%	A	520.4	622.2	101.80	0.11	9
42			B	589.2	745.8	156.60		
43			C	575.3	671.4	96.10		
44			D	601.2	684.7	83.50		
45		20%	A	1000.4	1102.0	101.60	0.10	9



No.	Ketebalan Kering (Mikron)	Komposisi Pelarut	Titik	Lebar Awal	Lebar Setelah dilakukan pengujian sembur garam 72 jam	Perubahan Lebar	Rata-rata Perubahan Lebar	Rating	
46		20%	B	760	923.4	163.40			
47			C	630	753.7	123.70			
48			D	1110	1133.2	23.20			
49	250	0%	A	654.3	676.9	22.60	0.09	9	
50			B	640.9	706.5	65.60			
51			C	944.4	972.8	28.40			
52			D	722.9	972.8	249.90			
53		10%	A	629.2	650.5	21.30	0.08	9	
54			B	626.5	772.6	146.10			
55			C	537.6	713.8	176.20			
56			D	632.3	626.5	-5.80			
57		20%		A	616.4	640.7	24.30	0.09	9
58				B	844.7	899.7	55.00		
59				C	659.5	774.9	115.40		
60				D	665.2	817.2	152.00		



LAMPIRAN F PERMEABILITY COATING

Perhitungan *Water Vapor Transmission Rate* (WVT) dengan menggunakan data jumlah perubahan berat selama 7 hari, ketebalan *coating*, besar ukuran wadah (*cup*), dan waktu sebagai berikut :

Tabel F.1 Pertambahan Berat *Water Vapor Transmission Rate* dengan Penambahan Pelarut 0%

No.	W	W0-W
1	43.905	-
2	43.8745	0.0305
3	43.8495	0.0555
4	43.8103	0.0947
5	43.8002	0.1048
6	43.7868	0.1182
7	43.7556	0.1494
8	43.7358	0.1692
	Σ	0.7223

Tabel F.2 Pertambahan Berat *Water Vapor Transmission Rate* dengan Penambahan Pelarut 10%

No.	W	W0-W
1	42.2552	-
2	42.2158	0.0394
3	42.1781	0.0771
4	42.1256	0.1296
5	42.1153	0.1399
6	42.1035	0.1517
7	42.0697	0.1855
8	42.0514	0.2038
	Σ	0.927



Tabel F.3 Pertambahan Berat *Water Vapor Transmission Rate* dengan Penambahan Pelarut 20%

No.	W	W0-W
1	42.7573	-
2	42.6745	0.0828
3	42.6139	0.1434
4	42.536	0.2213
5	42.5209	0.2364
6	42.5096	0.2477
7	42.4613	0.296
8	42.4188	0.3385
	Σ	1.5661

Water Vapor Transmission Rate (WVT)

- **Komposisi Pelarut 0%**

Ketebalan Coating : 250 mikron/ 0.25mm

A (Luas Area) : 8,3427 cm²/ 0,83427 m²

t (Waktu) : 7 hari

G (Jumlah Perubahan Berat) : 0,7223 g

$$WVT = \frac{G/t}{A}$$

$$WVT = 0.12368 \text{ g/24jam. m}^2$$

- **Komposisi Pelarut 10%**

Ketebalan Coating : 250 mikron/ 0.25mm

A (Luas Area) : 8,3427 cm²/ 0,83427 m²

t (Waktu) : 7 hari



G (Jumlah Perubahan Berat) : 0,927 g

$$WVT = \frac{G/t}{A}$$

$$WVT = 0.15874 \text{ g/24jam. m}^2$$

- **Komposisi Pelarut 20%**

Ketebalan Coating : 250 mikron/ 0.25mm

A (Luas Area) : 8,3427 cm²/ 0,83427 m²

t (Waktu) : 7 hari

G (Jumlah Perubahan Berat) : 1,5561 g

$$WVT = \frac{G/t}{A}$$

$$WVT = 0.26646 \text{ g/24jam. m}^2$$



LAMPIRAN G

Technical Data Penguard Primer



Product description

Penguard Primer is a two-pack epoxy primer based on epoxy resin with high molecular weight. This product is a part of a complete system which is certified not to spread surface flames.

Recommended use

As a primer in a coating system for corrosion protection of steel and other substrates. Penguard Primer is also recommended for internal lining for friction reduction in gas transmitting pipelines as per API 5L2. Please contact Jotun for specific recommendations.

Film thickness and spreading rate

	Minimum	Maximum	Typical
Film thickness, dry (μm)	40	60	50
Film thickness, wet (μm)	80	120	100
Theoretical spreading rate (m^2/l)	12,8	8,5	10,2

Approvals

API 5L2 by Egyptian National Research Centre NRC.

Physical properties

Colour	Grey, Red
Solids (vol %)*	51 \pm 2
Flash point	25°C \pm 2 (Setflash)
VOC	420 gms/ltr UK-FG6/23(97). Appendix 3
Gloss	Flat
Water resistance	Very good
Abrasion resistance	Very good
Solvent resistance	Excellent
Chemical resistance	Excellent
Flexibility	Good

*Measured according to ISO 3233:1998 (E)

Hong Kong rules: Category of paints - Tank lining coatings; VOC 440 gms/ltr HK EPD method (Ready to use); Exempt compound - N/A; Specific gravity: 1.24 kg/ltr (A+B); Both VOC and Specific gravity values provided are typical values, subject to changes when different colour involved.



Surface preparation

All surfaces should be clean, dry and free from contamination. The surface should be assessed and treated in accordance with ISO 8504.

Bare steel

Cleanliness: Blast cleaning to Sa 2½ (ISO 8501-1:2007). Roughness: using abrasives suitable to achieve grade Fine to Medium G (30-85 µm, Ry5) (ISO 8503-2)

Shopprimed steel

Clean, dry and undamaged approved shopprimer.

Coated surfaces

Clean, dry and undamaged compatible primer. Please contact your local Jotun office for more information.

Other surfaces

For aluminium and galvanised surface; degreasing, light abrading or sweep blasting. For stainless steel; light abrading or sweep blasting using chloride free, non-metallic abrasive.

The coating may be used on other substrates. Please contact your local Jotun office for more information.

Condition during application

The temperature of the substrate should be minimum 10°C and at least 3°C above the dew point of the air, temperature and relative humidity measured in the vicinity of the substrate. Good ventilation is usually required in confined areas to ensure proper drying. The coating should not be exposed to oil, chemicals or mechanical stress until cured. If necessary, Penguard Stayer, Penguard Primer, Penguard HB, Penguard Special may be used down to 2°C, provided a special accelerator is added.

Application methods

Spray	Use airless spray
Brush	Recommended for stripe coating and small areas, care must be taken to achieve the specified dry film thickness.

Application data

Mixing ratio (volume)	4:1
Mixing	4 parts Penguard Primer Comp. A (base) to be mixed thoroughly with 1 part Penguard, Comp. B (curing agent).
Induction time	30 minutes.
Pot life (23°C)	8 hours. (Reduced at higher temp.)
Thinner/Cleaner	Jotun Thinner No. 17. Do not use thinner when applied in potable water tanks.
Guiding data airless spray	
Pressure at nozzle	15 MPa (150 kp/cm ² , 2100 psi)
Nozzle tip	0.46 - 0.58 mm (0.018-0.023")
Spray angle	40 - 80°
Filter	Check to ensure that filters are clean.



Drying time

Drying times are generally related to air circulation, temperature, film thickness and number of coats, and will be affected correspondingly. The figures given in the table are typical with:

- * Good ventilation (Outdoor exposure or free circulation of air)
- * Typical film thickness
- * One coat on top of inert substrate

Substrate temperature	10°C	23°C	40°C
Surface dry	2 h	1 h	0,5 h
Through dry	14 h	6,5 h	3 h
Cured	14 d	7 d	3 d
Dry to recoat, minimum ¹	8 h	4 h	3 h
Dry to recoat, maximum ¹			

1. Provided the surface is free from chalking and other contamination prior to application, there is normally no overcoating time limit. Best intercoat adhesion occurs, however, when the subsequent coat is applied before preceding coat has cured. If the coating has been exposed to direct sunlight for some time, special attention must be paid to surface cleaning and mottling/removal of the surface layer in order to obtain good adhesion.

The given data must be considered as guidelines only. The actual drying times before recoating may be shorter or longer, depending on film thickness, ventilation, humidity, underlying paint system, requirement for early handling and mechanical strength etc. A complete system can be described on a system sheet, where all parameters and special conditions could be included.

Typical paint system

Penguard Primer	1 x 60 µm	(Dry Film Thickness)
Penguard HB	1 x 100 µm	(Dry Film Thickness)
Penguard Topcoat	1 x 50 µm	(Dry Film Thickness)

Other systems may be specified, depending on area of use

Storage

The product must be stored in accordance with national regulations. Storage conditions are to keep the containers in a dry, cool, well ventilated space and away from source of heat and ignition. Containers must be kept tightly closed.

Handling

Handle with care. Stir well before use.

Packing size

20 litre unit: 16 litres Penguard Primer Comp. A (base) in a 20 litre container and 4 litres Penguard, Comp. B (curing agent) in a 5 litre container

5 litre unit: 4 litres Penguard Primer Comp. A (base) in a 5 litre container and 1 litre Penguard, Comp. B (curing agent) in a 1 litre container



Health and safety

Please observe the precautionary notices displayed on the container. Use under well ventilated conditions. Do not breathe or inhale mist. Avoid skin contact. Spillage on the skin should immediately be removed with suitable cleanser, soap and water. Eyes should be well flushed with water and medical attention sought immediately.

For detailed information on the health and safety hazards and precautions for use of this product, we refer to the Material Safety Data Sheet.

DISCLAIMER

The information in this data sheet is given to the best of our knowledge based on laboratory testing and practical experience. However, as the product can be used under conditions beyond our control, we can only guarantee the quality of the product itself. We also reserve the right to change the given data without notice. Minor product variations may be implemented in order to comply with local requirements.

If there is any inconsistency in the text the English (UK) version will prevail.

Jotun is a World Wide company with factories, sales offices and stocks in more than 50 countries. For your nearest local Jotun address please contact the nearest regional office or visit our website at www.jotun.com

ISSUED 26 NOVEMBER 2010 BY JOTUN
THIS DATA SHEET SUPERSEDES THOSE PREVIOUSLY ISSUED



LAMPIRAN H



Jotun Thinner No. 17

1. Product and company identification

Trade name	: Jotun Thinner No. 17
Code	: 553
Material uses	: Coatings: Solvent-borne.
Manufacturer	: Jotun Paints, Inc. 9203 Highway 23 Belle Chasse, LA 70037 Telephone: (800) 229-3538 or (504) 394-3538 SDSJotun@jotun.com
In case of emergency	: 1-800-424-9300

2. Hazards identification

Physical state	: Liquid.
Odor	: Characteristic.
OSHA/HCS status	: This material is considered hazardous by the OSHA Hazard Communication Standard (29 CFR 1910.1200). WARNING! FLAMMABLE LIQUID AND VAPOR. CONTAINS MATERIAL THAT MAY CAUSE TARGET ORGAN DAMAGE, BASED ON ANIMAL DATA. POSSIBLE CANCER HAZARD - CONTAINS MATERIAL WHICH MAY CAUSE CANCER, BASED ON ANIMAL DATA. Flammable liquid. Keep away from heat, sparks and flame. Avoid exposure - obtain special instructions before use. Do not breathe vapor or mist. Avoid contact with skin and clothing. Contains material that may cause target organ damage, based on animal data. Contains material which may cause cancer, based on animal data. Risk of cancer depends on duration and level of exposure. Use only with adequate ventilation. Keep container tightly closed and sealed until ready for use.
Eyes	: May cause eye irritation.
Skin	: May cause skin irritation.
Inhalation	: No known significant effects or critical hazards.
Ingestion	: No known significant effects or critical hazards.
Potential chronic health effects	: CARCINOGENIC EFFECTS: Classified A4 (Not classifiable for humans or animals.) by ACGIH, 3 (Not classifiable for humans.) by IARC [xylene]. Classified A3 (Proven for animals.) by ACGIH, 2B (Possible for humans.) by IARC [ethylbenzene]. MUTAGENIC EFFECTS: Not available. TERATOGENIC EFFECTS: Not available.
Medical conditions aggravated by over-exposure	: Pre-existing disorders involving any target organs mentioned in this MSDS as being at risk may be aggravated by over-exposure to this product.
See toxicological information (Section 11)	



Jotun Thinner No. 17

Page: 2/8

3. Composition/information on ingredients

Name	CAS number	% by weight
Solvent naphtha (petroleum), light aromatic	64742-95-6	50 - 100
xylene	1330-20-7	10 - 25
butan-1-ol	71-36-3	10 - 25
ethylbenzene	100-41-4	2.5 - 10

Components not listed are not physical or health hazards as defined in 29 CFR 1910.1200 (Hazard Communication Standard).

4. First aid measures

Eye contact	: Check for and remove any contact lenses. Immediately flush eyes with plenty of water for at least 15 minutes, occasionally lifting the upper and lower eyelids. Get medical attention immediately.
Skin contact	: In case of contact, immediately flush skin with plenty of water for at least 15 minutes while removing contaminated clothing and shoes. Wash clothing before reuse. Clean shoes thoroughly before reuse. Get medical attention immediately.
Inhalation	: Move exposed person to fresh air. If not breathing, if breathing is irregular or if respiratory arrest occurs, provide artificial respiration or oxygen by trained personnel. Loosen tight clothing such as a collar, tie, belt or waistband. Get medical attention immediately.
Ingestion	: Wash out mouth with water. Do not induce vomiting unless directed to do so by medical personnel. Never give anything by mouth to an unconscious person. Get medical attention immediately.
Protection of first-aiders	: No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. It may be dangerous to the person providing aid to give mouth-to-mouth resuscitation.

5. Fire-fighting measures

Flammability of the product	: May be combustible at high temperature.
Products of combustion	: Decomposition products may include the following materials: carbon dioxide carbon monoxide
Suitable	: Use dry chemical, CO ₂ , water spray (fog) or foam.
Not suitable	: Do not use water jet.
Special exposure hazards	: Promptly isolate the scene by removing all persons from the vicinity of the incident if there is a fire. No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Move containers from fire area if this can be done without risk. Use water spray to keep fire-exposed containers cool. Fire water contaminated with this material must be contained and prevented from being discharged to any waterway, sewer or drain. Flammable liquid. In a fire or if heated, a pressure increase will occur and the container may burst, with the risk of a subsequent explosion. Runoff to sewer may create fire or explosion hazard.
Special protective equipment for fire-fighters	: Fire-fighters should wear appropriate protective equipment and self-contained breathing apparatus (SCBA) with a full face-piece operated in positive pressure mode.

6. Accidental release measures

Personal precautions	: No action shall be taken involving any personal risk or without suitable training. Evacuate surrounding areas. Keep unnecessary and unprotected personnel from entering. Do not touch or walk through spilled material. Shut off all ignition sources. No flames, smoking or flames in hazard area. Avoid breathing vapor or mist. Provide adequate ventilation. Wear appropriate respirator when ventilation is inadequate. Put on appropriate personal protective equipment (see Section 8).
-----------------------------	--



LAMPIRAN I

- Berikut contoh perhitungan menggunakan *Software Microsoft Excel 2013*, untuk mendapatkan persamaan regresi linier dari data daya lekat:

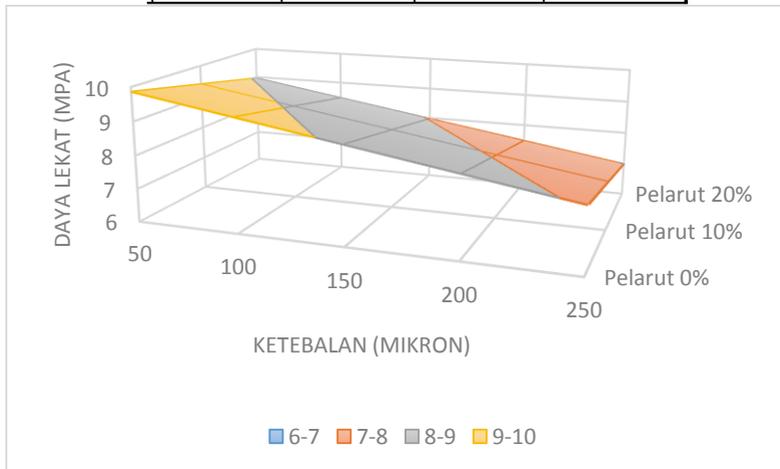
Tabel I.1 Hasil Perhitungan Persamaan Regresi Berganda pada Data Pengujian Daya Lekat menggunakan *Ms. Excel 2013*

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.46691							
R Square	0.218005							
Adj R Square	0.180767							
Std Error	1.547753							
Observations	45							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>significance F</i>			
Regression	2	28.0488133	14.02441	5.85438191	0.00571856			
Residual	42	100.612684	2.39554					
Total	44	128.661498						
	<i>Coefficients</i>	<i>Std Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 90%</i>	<i>Upper 90%</i>
Intercept	10.35689	0.61044211	16.96621	2.0864E-20	9.12496683	11.5888109	9.33015434	11.38362
Pelarut	-4.53667	2.82579788	-1.60545	0.11588947	-10.239358	1.16602434	-9.28952408	0.216191
Ketebalan	-0.00986	0.00326295	-3.02181	0.00426738	-0.0164449	-0.0032751	-0.01534813	-0.00437
Persamaan Regresi Berganda :								
Daya Lekat= 10.35689+(-4.53667*pelarut)+(-0.00986*ketebalan)								



Tabel I.2 Hasil Perhitungan Nilai Regresi Berganda pada Data Pengujian Daya Lekat

Ketebalan	Pelarut 0%	Pelarut 10%	Pelarut 20%
50	9.86388889	9.41022222	8.95655556
100	9.37088889	8.91722222	8.46355556
150	8.87788889	8.42422222	7.97055556
200	8.38488889	7.93122222	7.47755556
250	7.89188889	7.43822222	6.98455556
50	9.86388889	9.41022222	8.95655556
100	9.37088889	8.91722222	8.46355556
150	8.87788889	8.42422222	7.97055556
200	8.38488889	7.93122222	7.47755556
250	7.89188889	7.43822222	6.98455556
50	9.86388889	9.41022222	8.95655556
100	9.37088889	8.91722222	8.46355556
150	8.87788889	8.42422222	7.97055556
200	8.38488889	7.93122222	7.47755556
250	7.89188889	7.43822222	6.98455556



Gambar I.1 Diagram Surface Regresi Berganda pada Data Pengujian Daya Lekat

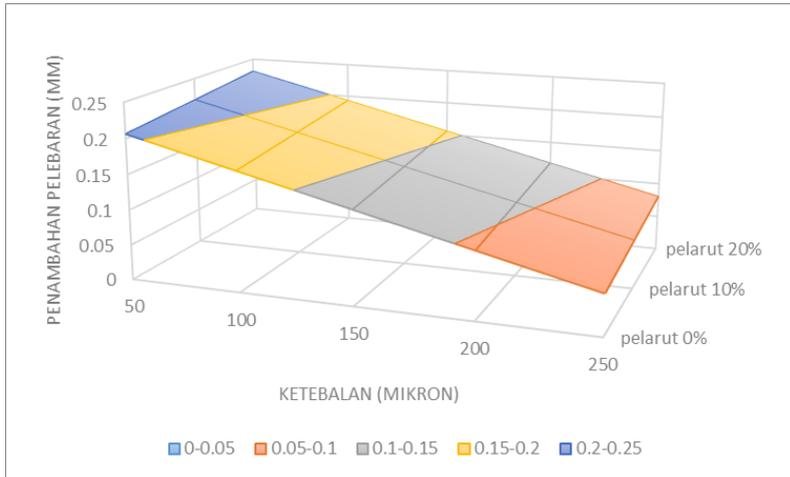


Tabel I.3 Hasil Perhitungan Persamaan Regresi Berganda pada Data Pengujian Sembur Garam menggunakan *Ms. Excel 2013*

SUMMARY OUTPUT								
Regression Statistics								
Multiple F	0.444673							
R Square	0.197734							
Adjusted R Square	0.169584							
Std Error	0.111194							
Observations	60							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	2	0.173699	0.08685	7.024379732	0.00187531			
Residual	57	0.70475	0.012364					
Total	59	0.87845						
	<i>Coefficients</i>	<i>Std Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 90.0%</i>	<i>Upper 90.0%</i>
Intercept	0.243903	0.03798	6.421887	2.90444E-08	0.1678491	0.3199559	0.180399	0.307406
pelarut	0.11975	0.175813	0.681123	0.498551815	-0.2323088	0.47180885	-0.17421	0.413714
ketebalan	-0.00075	0.000203	-3.68576	0.000509645	-0.0011548	-0.0003417	-0.00109	-0.00041
Persamaan Regresi Berganda :								
Daya Lekat= 0.243903+(0.11975*pelarut)+(-0.00075*ketebalan)								

Tabel I.4 Hasil Perhitungan Nilai Regresi Berganda pada Data Pengujian Sembur Garam

ketebalan	pelarut 0%	pelarut 10%	pelarut 20%
50	0.206403	0.218378	0.230353
100	0.168903	0.180878	0.192853
150	0.131403	0.143378	0.155353
200	0.093903	0.105878	0.117853
250	0.056403	0.068378	0.080353



Gambar I.2 Diagram Surface Regresi Berganda pada Data Pengujian Daya Lekat



LAMPIRAN J

Langkah-langkah dalam desain eksperimen

- Mengenal permasalahan
- Memilih variable respon
- Menentukan faktor dan level
- Memilih metode desain eksperimen

Langkah-langkah dalam desain eksperimen

- Melaksanakan eksperimen
- Analisa data
- Membuat suatu keputusan



Pengumpulan data

Tabel J.1 Data Hasil Pengujian Daya Lekat

Ketebalan	Pelarut 0%	Pelarut 10%	Pelarut 20%	y_i
50	10.6	11.74	10.16	816.2783
	9.25	8.82	8.09	
	9.79	8.08	8.54	
100	8.44	5.92	7.44	641.1193
	9.2	7.46	9.24	
	11.12	8.5	7.61	
150	12.32	8.21	10.36	893.4124
	11.12	9.21	8.18	
	8.69	10.97	9.78	
200	5.43	6.93	7.35	405.8318
	5.5	6.59	8.19	
	7.9	6.28	5.63	
250	9.1	5.08	8.31	565.5581
	9.15	7.54	6.93	
	8.85	8.45	7.04	
y_j	1291.2474	1001.3754	1029.5771	3322.2



Perhitungan Nilai *Sum of Square*

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_T = 10.6^2 + 11.74^2 + 10.16^2 + \dots + 8.85^2 + 8.45^2 + 7.04^2 - \frac{379.09^2}{(3 \times 5 \times 3)}$$

$$SS_T = 3322.2 - 3193.538402 = 128.6615978$$

$$SS_{ketebalan} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_{ketebalan} = \frac{1}{(3 \times 3)} (85.07^2 + 74.93^2 + 88.84^2 + 59.8^2 + 70.45^2) - \frac{379.09^2}{(3 \times 5 \times 3)}$$

$$SS_{ketebalan} = 3253.689 - 3193.5384 = 60.150253$$

$$SS_{pelarut} = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_{pelarut} = \frac{1}{(5 \times 3)} (136.46^2 + 119.78^2 + 122.85^2) - \frac{379.09^2}{(3 \times 5 \times 3)}$$

$$SS_{pelarut} = 3204.047 - 3193.5384 = 10.50843$$

$$SS_{subtotal} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_{interaction} = SS_{subtotal} - SS_{pediatrician} - SS_{ward}$$

$$SS_{interaction} = 9822.2419 - 3193.5384 - 60.150253 - 10.50843$$

$$SS_{interaction} = 9.884$$



$$SS_E = SS_T - SS_{dokter} - SS_{ruangan} - SS_{interaction}$$

$$SS_E = 128.661 - 10.508 - 60.150 - 9.884$$

$$SS_E = 48.119$$

Tabel J.2 Analisa Hasil Eksperimen menggunakan *Software minitab 16*

Table 5-3 The Analysis of Variance Table for the Two-Factor Factorial, Fixed Effects Model

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0
A treatments	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
B treatments	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaction	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	SS_T	$abn - 1$		



08/07/2015 21:36:54

Welcome to Minitab, press F1 for help.

General Linear Model: Daya Lekat versus Pelarut, Ketebalan

Factor	Type	Levels	Values
Pelarut	fixed	3	0.0, 0.1, 0.2
Ketebalan	fixed	5	50, 100, 150, 200, 250

Analysis of Variance for Daya Lekat, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pelarut	2	10.508	10.508	5.254	3.28	0.052
Ketebalan	4	60.150	60.150	15.038	9.38	0.000
Pelarut*Ketebalan	8	9.884	9.884	1.235	0.77	0.631
Error	30	48.119	48.119	1.604		
Total	44	128.661				

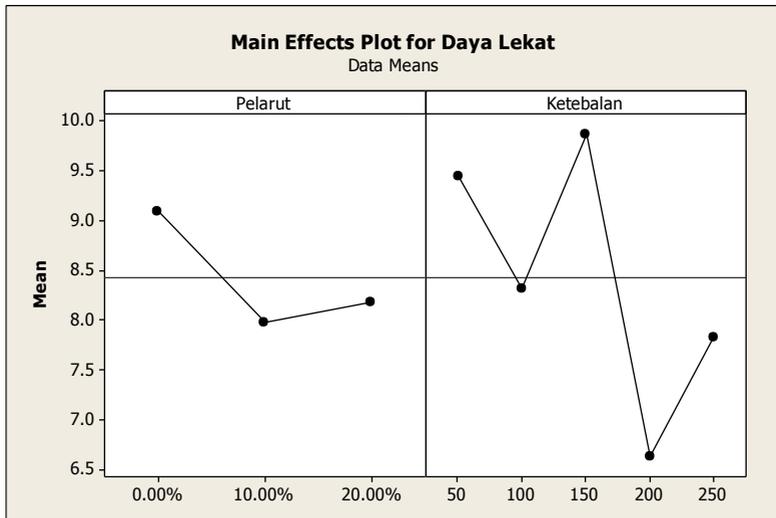
S = 1.26648 R-Sq = 62.60% R-Sq(adj) = 45.15%

Gambar J.1 Hasil Eksperimen Data Daya Lekat menggunakan *Software minitab 16*

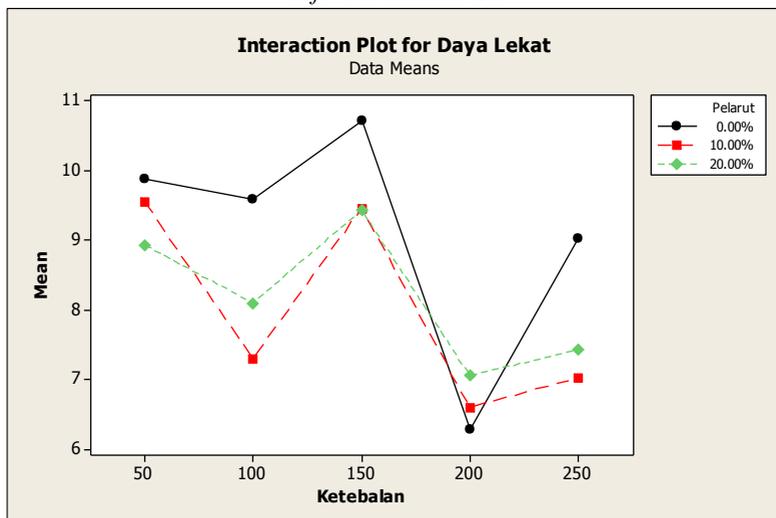
Analisis yang dilakukan adalah menjawab apakah ada pengaruh perlakuan dan kombinasinya terhadap Daya Lekat. Akibat dari kombinasi perlakuan disebut sebagai interaksi. Jika terdapat perbedaan hasil akibat perlakuan dan interaksi antar faktor maka ditunjukkan dengan nilai P yang signifikan. Untuk itu nilai P harus dibandingkan dengan nilai α (alpha: 0.05; Untuk nilai $P < \alpha$ dikatakan bahwa perlakuan atau interaksinya berpengaruh secara signifikan terhadap hasil).

Dalam kasus di atas, terlihat bahwa:

1. Ketebalan berpengaruh sangat signifikan terhadap daya lekat
2. Pelarut tidak signifikan terhadap daya lekat
3. Kombinasi keduanya (Ketebalan*Pelarut) atau interaksi kedua faktor tidak berpengaruh sangat signifikan terhadap daya lekat.



Gambar J.2 Grafik *Main Effect Plot* Data Daya Lekat menggunakan *Software minitab 16*



Gambar J.3 Grafik *Interaction Plot* Data Daya Lekat menggunakan *Software minitab 16*



09/07/2015 01:21:32

Welcome to Minitab, press F1 for help.

General Linear Model: pelebaran versus pelarut, ketebalan

Factor	Type	Levels	Values
pelarut	fixed	3	0.0, 0.1, 0.2
ketebalan	fixed	5	50, 100, 150, 200, 250

Analysis of Variance for pelebaran, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
pelarut	2	0.01064	0.01064	0.00532	0.39	0.680
ketebalan	4	0.20208	0.20208	0.05052	3.69	0.011
pelarut*ketebalan	8	0.04953	0.04953	0.00619	0.45	0.883
Error	45	0.61620	0.61620	0.01369		
Total	59	0.87845				

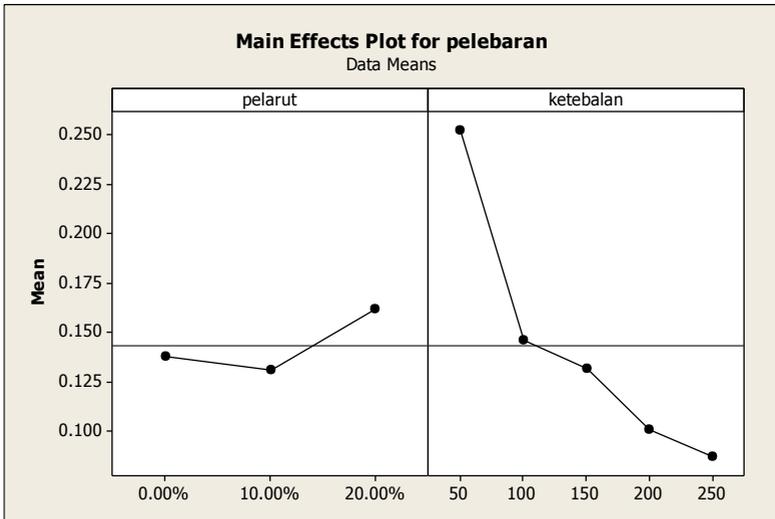
S = 0.117019 R-Sq = 29.85% R-Sq(adj) = 8.03%

Gambar J.4 Hasil Eksperimen Data Pengujian Sembur Garam menggunakan *Software minitab 16*

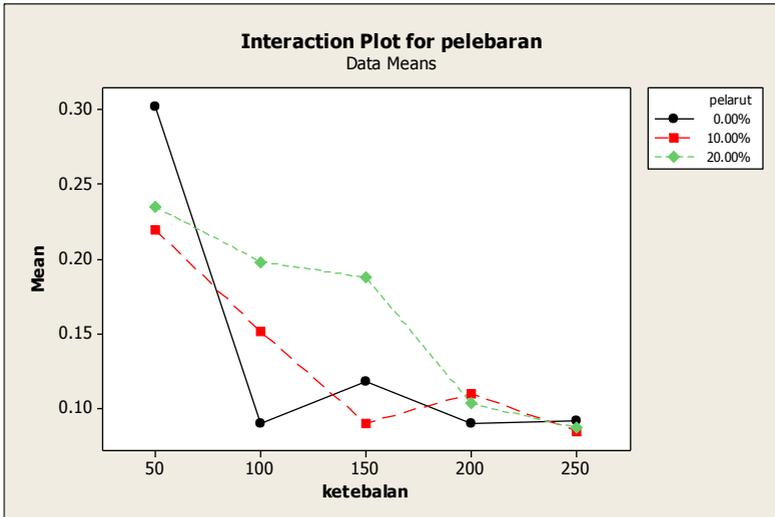
Analisis yang dilakukan adalah menjawab apakah ada pengaruh perlakuan dan kombinasinya terhadap pertambahan pelebaran. Akibat dari kombinasi perlakuan disebut sebagai interaksi. Jika terdapat perbedaan hasil akibat perlakuan dan interaksi antar faktor maka ditunjukkan dengan nilai P yang signifikan. Untuk itu nilai P harus dibandingkan dengan nilai α (alpha: 0.05; Untuk nilai $P < \alpha$ dikatakan bahwa perlakuan atau interaksinya berpengaruh secara signifikan terhadap hasil).

Dalam kasus di atas, terlihat bahwa:

1. Ketebalan berpengaruh sangat signifikan terhadap pertambahan pelebaran
2. Pelarut tidak signifikan terhadap pertambahan pelebaran
3. Kombinasi keduanya (Ketebalan*Pelarut) atau interaksi kedua faktor tidak berpengaruh sangat signifikan terhadap pertambahan pelebaran.



Gambar J.5 Grafik *Main Effect Plot* Data Pengujian Sembur Garam menggunakan *Software minitab 16*



Gambar J.6 Grafik *Interaction Plot* Data Pengujian Sembur Garam menggunakan *Software minitab 16*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Maulana Mufti Muhammad, lahir di Jakarta 2 September 1992. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Ir. Bambang Setyawan dan Titik Harsanti S.Si M.Si. Penulis melakukan studi formal bermula di SDIT Nurul Fikri Depok, SMPIT Nurul Fikri Depok, SMA Labschool Kebayoran Jakarta, dan sampai sekarang pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya pada tahun 2011.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Departemen Dalam Negeri HMMT FTI-ITS (2012-2013), Staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTI-ITS (2013-2014), dan Staff Departemen Kaderisasi Ash-Habu Kahfi Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS (2012-2013). Dalam kepanitiaan penulis pernah menjadi Anggota Steering Committee Kaderisasi HMMT FTI-ITS (2012-2013), Koordinator Steering Committee Kaderisasi HMMT FTI-ITS (2013-2014), dan Koordinator Komisi Pemilihan Umum Keluarga Mahasiswa Material dan Metalurgi (2013-2014). Penulis melakukan kerja praktek di PT. Antam UBPN Pomalaa, Sulawesi Tenggara. Penulis sebelum mengambil tugas akhir juga sudah lulus sebagai Coating Inspector Muda. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Penulis memiliki nomor handphone dan email yang dapat dihubungi yaitu 08568852191 dan mufti.classic@gmail.com maulanamufti2992@yahoo.com.