



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN KOROSI DARI
TEMPORARY ORGANIC COATING PADA PIPA-PIPA API 5CT
DILINGKUNGAN ATMOSFER LAUT**

THESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)**

RAHMAD BUDI ARMAN

0706304870

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
PROGRAM STUDI KOROSI DAN PROTEKSI
DEPOK
2011**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa thesis dengan judul:
**STUDI KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN KOROSI DARI
TEMPORARY ORGANIC COATING PADA PIPA-PIPA API 5CT
DILINGKUNGAN ATMOSFER LAUT**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada Program Pasca Sarjana Studi Korosi dan Proteksi Logam Departemen Metalurgi Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari thesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, Januari 2011

Rahmad Budi Arman
NPM : 0706304870

LEMBAR PENGESAHAN

Thesis ini diajukan oleh :

Nama : Rahmad Budi Arman
NPM : 0706304870
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Thesis : Studi kekuatan adhesi dan ketahanan korosi dari *temporary organic coating* pada pipa-pipa API 5CT dilingkungan atmosfer laut

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir Rini Riastuti M.Sc ()
Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi, DEA ()
Penguji 2 : Dr.Ir. Dedi Priadi, DEA ()
Penguji 3 : Dra. Sari Katili, M.S ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan Kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya kepada penulis dalam menyelesaikan laporan thesis ini sehingga selesai tepat pada waktunya. Penulisan thesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Departemen Metalurgi Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam terwujudnya thesis ini, antara lain:

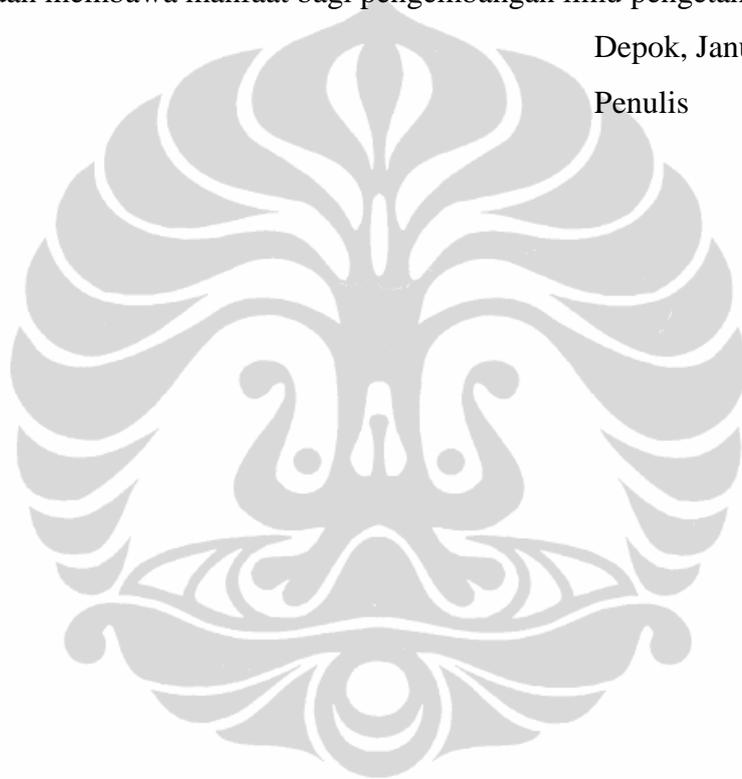
1. Ir. Rini Riastuti M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan thesis ini;
2. Ibu Dra. Sari Katili MS; Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi, DEA; Dr.Ir. Dedi Priadi, DEA; dan Bpk Rommy Sugara selaku dosen penguji dalam sidang akhir dan seminar yang telah membantu mengarahkan dan masukan pada penulisan thesis ini;
3. Bpk Deni dari B4T Bandung yang telah membantu pengujian dan petunjuk penulisan ini;
4. Bpk Ir. Zakiyuddin, Laborat SEM CPMA Metalurgi UI, yang telah membantu selama pengujian SEM;
5. Bpk Rudi, Directur Utama PT. Rephoun Chemical, yang telah memberikan sampel, literature dan arahan dalam penulisan thesis ini;
6. Bpk Jefri Tambuaga, Marketing Manager PT. Eon Chemical, yang telah memberikan sampel, literature dan arahan dalam penulisan thesis ini;
7. Bpk Yakub, Marketing Manager (Unit OCTG) PT. Radian Utama Interinsco, yang telah memberikan pengalaman dan procedure dalam melakukan aplikasi temporary *coating*.
8. Bpk. Aidil Adha, Edi Purlono, selaku material logistic PT. Eni Indonesia yang telah mendukung dalam memberikan data-data pengamatan langsung dilapangan;

9. Istri dan Anakku tercinta Fatma Elyana dan Naufal Abyan Hasby, kedua orangtua dan mertua serta keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; serta
10. Keluarga besar DTMM dan CMPFA yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan thesis ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan seluruh pihak yang telah membantu. Semoga thesis ini menambah wawasan bagi pembacanya dan membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Januari 2011

Penulis



LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rahmad Budi Arman
NPM : 0706304870
Program Studi : Korosi dan Proteksi
Departemen : Teknik Metalurgi Material
Fakultas : Teknik Universitas Indonesia
Jenis karya : Thesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Nonexclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**STUDI KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN KOROSI DARI
TEMPORARY ORGANIC COATING PADA PIPA-PIPA API 5CT
DILINGKUNGAN ATMOSFER LAUT**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Januari 2011
yang menyatakan

Rahmad Budi Arman

ABSTRAK

Rahmad Budi Arman
NIM 0706304870
Departemen Metalurgi & Material

Dosen Pembimbing
Ir. Rini Riastuti M.sc

STUDI KEKUATAN ADHESI DAN KETAHANAN KOROSI DARI *TEMPORARY ORGANIC COATING* PADA PIPA-PIPA API 5CT DILINGKUNGAN ATMOSFER LAUT

Abstrak

Pengecatan untuk perlindungan sementara terhadap suatu barang selama proses pengiriman dan atau penyimpanan dapat digunakan dengan cat berbahan dasar *bituminous*, *toluene*, *alkyd resin* dan *aliphatic hydrocarbon*.

Analisa dilakukan untuk mengetahui performa dari variasi komposisi *bituminous* dan tebal lapisan cat dengan menggunakan pengamatan mikroskopik, uji kabut garam, uji permeabilitas dan kekuatan adesi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *bituminous* akan mengurangi ukuran dan jumlah pori sehingga menurunkan permeabilitas terhadap uap air, namun juga mengurangi gaya adhesi. Untuk penambahan tebal lapisan cat juga tidak meningkatkan performa dari *coating*, karena menimbulkan pori yang cukup besar sehingga meningkatkan permeabilitasnya akibat dari tidak homogenya proses selama pengeringan. Dari pengujian sembur kabut garam, tidak begitu menjelaskan perbedaan dari variasi pengujian ini.

Kata Kunci : *Bituminous*, Mikroskopik, Adhesi, Permeabilitas, Porositas.

ABSTRACT

Rahmad Budi Arman
NIM 0706304870
Metallurgy and Material Department

Dosen Pembimbing
Ir. Rini Riastuti M.sc

**A STUDY OF ADHESION STRENGTH AND CORROSION RESISTANCE
OF THE TEMPORARY ORGANIC COATING ON API 5CT PIPES IN
THE MARINE ATMOSPHERE ENVIRONMENT**

Abstract

A temporary protective *coating* for materials or goods during shipping and or warehousing period could be used a *coating* with base composition from *bituminous*, toluene, alkyd resin and aliphatic hydrocarbon.

Analysis is conducted to collect the information of *coating* performance by variant of *bituminous* composition in *coating* itself and variant of drying film thickness. The method of research are using microscopic (SEM), *salt spray* test, *water* vapor permeability and pull off test. The result of test showed that adding the *bituminous* material will decrease size and quantity of porosity to reducing the permeability and also will reduce the adhesion force. From the dry film thickness site, having a thicker layer film is not warranted in increasing the performance of *coating*, because inhomogeneous of curing process. The porosity will be growth up and increasing the permeability. The results of *salt spray* test not really explain the difference value from these variants.

Keywords: *Bituminous*, Microscopic, Adhesive, Permeability, Porosity.

DAFTAR ISI

JUDUL	I
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	II
LEMBAR PENGESAHAN	III
KATA PENGANTAR.....	IV
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	VI
ABSTRAK	VII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR TABEL.....	XIII
DAFTAR LAMPIRAN	XIV
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. <i>Temporary Coating</i> Pada <i>Oil Country Tubular Goods (OCTGs)</i>	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Hipotesis	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Definisi <i>Temporary Coating</i>	7
2.2. Tipe <i>Temporary Coating</i>	9
2.2.1. Conventional Solventborne <i>Coatings</i>	9
2.2.2. <i>Waterborne Coatings</i>	9
2.2.3. UltraViolet <i>Coatings</i>	10
2.2.4. Chromate-based Conversion Treatments.....	11
2.2.5. Hot melts.....	11
2.2.6. Powder <i>Coating</i>	12
2.3. Organik <i>Coating (Cat)</i>	12
2.3.1. Definisi Cat	12
2.3.2. Komposisi Cat.....	12
2.3.3. Konsep Formulasi <i>Coating</i>	16
2.3.4. Komposisi temporary <i>coating</i>	18
3. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Diagram Alir Penelitian	20
3.2. Benda Uji	21
3.3. Prosedur Penelitian	22
3.3.1. Persiapan Permukaan	22
3.3.2. Pengecekan Kondisi Lingkungan.....	23
3.3.3. Proses Pengecatan	23
3.3.4. Pengamatan Struktur Mikro dengan Scanning Electron Microscope (SEM)	24
3.3.5. Pengujian Permeabilitas.....	25
3.3.6. Pengujian Sembur Kabut Garam.....	27
3.3.7. Uji Adhesi	30
4. DATA HASIL PENGUJIAN	32
4.1. Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM	32
4.1.1. Data pengamatan struktur mikro <i>coating</i> Black (Sampel A dengan DFT 50 μ m)	32
4.1.2. Data pengamatan struktur mikro <i>coating</i> Semi clear 1 (Sampel B1 dengan DFT 50 μ m).....	34

4.1.3.	Data pengamatan struktur mikro <i>coating</i> Semi clear 2 (Sampel B2 dengan DFT 80 μm).....	37
4.1.4.	Data pengamatan struktur mikro <i>coating</i> Clear 1 (Sampel C1 dengan DFT 50 μm)	39
4.1.5.	Data pengamatan struktur mikro <i>coating</i> Clear 2 (Sampel C2 dengan DFT 80 μm)	41
4.2.	Pengujian Pengaruh <i>Bituminous</i> Terhadap Nilai Permeabilitas Uap Air...	43
4.2.1.	Data Hasil Pengamatan Permeabilitas <i>coating</i> Black (Sampel A dengan DFT 50 μm).....	43
4.2.2.	Data Hasil Pengamatan Permeabilitas <i>coating</i> Semi clear (Sampel B1 dan B2 dengan DFT 50 - 80 μm)	43
4.2.3.	Data Hasil Pengamatan Permeabilitas <i>coating</i> Clear (Sampel C1 dan C2 dengan DFT 50-80 μm).....	44
4.3.	Uji Sembur Garam (<i>Salt Spray Test</i>)	44
4.3.1.	Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating</i> Black (Sampel A dengan DFT 50 μm).....	44
4.3.2.	Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating</i> Semi clear 1 (Sampel B1 dengan DFT 50 μm).....	45
4.3.3.	Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating</i> Semi clear 2 (Sampel B2 dengan DFT 80 μm).....	46
4.3.4.	Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating</i> Clear 1 (Sampel C1 dengan DFT 50 μm).....	47
4.3.5.	Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating</i> Clear 2 (Sampel C2 dengan DFT 80 μm).....	48
4.4.	Data Hasil Uji Adhesi / <i>Pull Off Test</i>.....	49
5.	PEMBAHASAN	51
5.1.	Pembahasan Hasil Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM	51
5.1.1.	Pembahasan struktur mikro <i>coating</i> Black (Sampel A dengan DFT 50 μm)	51
5.1.2.	Pembahasan struktur mikro <i>coating</i> Semi clear 1 (Sampel B1 dengan DFT 50 μm).....	53
5.1.3.	Pembahasan struktur mikro <i>coating</i> Semi clear 2 (Sampel B2 dengan DFT 80 μm).....	53
5.1.4.	Pembahasan struktur mikro <i>coating</i> Clear 1 (Sampel C1 dengan DFT 50 μm)	54
5.1.5.	Pembahasan struktur mikro <i>coating</i> Clear 2 (Sampel C2 dengan DFT 80 μm)	54
5.2.	Pembahasan Pengaruh <i>Bituminous</i> Terhadap Nilai Permeabilitas Uap Air	55
5.3.	Pembahasan Uji Sembur Garam (<i>Salt Spray Test</i>)	60
5.4.	Pembahasan hasil Uji Adhesi / <i>Pull Off Test</i>	62
6.	KESIMPULAN.....	66
	DAFTAR PUSTAKA	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kondisi Pipa dan Tubing ditempat penyimpanan (<i>supply base</i>).....	2
Gambar 1.2 Contoh penandaan pada Pipa (API 5CT)	3
Gambar 2.1 Komponen-komponen penyusun cat (<i>Jotun, Jotun Paint School Modul Chapter 2 – What is Paint, Jotun, Norwegian, 1998</i>)	13
Gambar 2.2 Ilustrasi bentuk pigment terhadap laju moisture	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2 Uji Temperature dan Humiditas Relative.....	23
Gambar 3.3 Persiapan Pengamatan Mikrostruktur.....	24
Gambar 3.4 <i>Water Vapor Preparation</i>	26
Gambar 3.5 Wajan untuk Uji <i>Water Vapor Permeability</i>	26
Gambar 3.6 Hasil preparasi goresan pada uji sembur kabut garam	28
Gambar 3.7 Alat uji sembur kabut garam (Lab kimia B4T Bandung).....	28
Gambar 3.8 Susunan sampel dalam kabinet uji sembur kabut garam.....	29
Gambar 3.9 Pengaruh external pada interface antara lapisan film dan <i>substrat</i>	30
Gambar 3.10 Elcometer Model 106/2 Adhesion Tester Scale 0-7Mpa.....	31
Gambar 3.11. (a) Schematik Pull-off test, (b) Jenis failure pada Pull-off test.....	31
Gambar 4.1 Pengamatan SEM <i>Coating Black</i> (Sampel A) pada pembesaran 1000x	33
Gambar 4.2 Pengamatan SEM <i>Coating Black</i> (Sampel A) pada pembesaran 4000x	33
Gambar 4.3 Pengamatan SEM <i>Coating Black</i> (Sampel A) pada pembesaran 7000x	34
Gambar 4.4 Pengamatan SEM <i>Coating Semi clear 1</i> (Sampel B1) pada pembesaran 1000x.....	35
Gambar 4.5 Pengamatan SEM <i>Coating Semi clear 1</i> (Sampel B1) pada pembesaran 4000x.....	36
Gambar 4.6 Pengamatan SEM <i>Coating Semi clear 1</i> (Sampel B1) pada pembesaran 7000x.....	36
Gambar 4.7 Pengamatan SEM <i>Coating Semi clear 2</i> (Sampel B2) pada pembesaran 1000x.....	37
Gambar 4.8 Pengamatan SEM <i>Coating Semi clear 2</i> (Sampel B2) pada pembesaran 4000x.....	38
Gambar 4.9 Pengamatan SEM <i>Coating Semi clear 2</i> (Sampel B2) pada pembesaran 7000x.....	38
Gambar 4.10 Pengamatan SEM <i>Coating Clear 1</i> (Sampel C1) pada pembesaran 1000x.....	39
Gambar 4.11 Pengamatan SEM <i>Coating Clear 1</i> (Sampel C1) pada pembesaran 4000x.....	40
Gambar 4.12 Pengamatan SEM <i>Coating Clear 1</i> (Sampel C1) pada pembesaran 7000x.....	40
Gambar 4.13 Pengamatan SEM <i>Coating Clear 2</i> (Sampel C2) pada pembesaran 1000x.....	41

Gambar 4.14 Pengamatan SEM <i>Coating Clear 2</i> (Sampel C2) pada pembesaran 4000x.....	42
Gambar 4.15 Pengamatan SEM <i>Coating Clear 2</i> (Sampel C2) pada pembesaran 7000x.....	42
Gambar 4.16 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Black</i> (Sampel A dengan DFT 50 μ m).....	44
Gambar 4.17 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Semi clear 1</i> (Sampel B1 dengan DFT 50 μ m).....	45
Gambar 4.18 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Semi clear 2</i> (Sampel B2 dengan DFT 80 μ m).....	46
Gambar 4.19 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Clear 1</i> (Sampel C1 dengan DFT 50 μ m).....	47
Gambar 4.20 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Clear 2</i> (Sampel C2 dengan DFT 80 μ m).....	48
Gambar 4.21 Hasil uji adhesi terhadap sampel <i>Semi clear B2</i>	50
Gambar 4.22 Bentuk failure dari uji adhesi pada sampel <i>semi clear 2</i> (sampel B2)	50
Gambar 5.1 Struktur Mikro <i>Coating Black</i> (Sampel A) pada pembesaran 1000x	52
Gambar 5.2 Pertambahan berat hasil pengujian <i>water vapor permeability</i> masing-masing sampel.....	55
Gambar 5.3 Nilai maksimum dari pertambahan berat sampel setelah uji <i>water vapor permeability test</i>	57
Gambar 5.4 Laju Transmisi Uap Air (WVP) masing-masing sample	58
Gambar 5.5 Nilai permeabilitas masing-masing sampel uji	59
Gambar 5.6 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada <i>coating Black</i> (Sampel A dengan DFT 50 μ m).....	60
Gambar 5.7 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada <i>coating Semi clear 1</i> (Sampel B1 dengan DFT 50 μ m).....	61
Gambar 5.8 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada <i>coating Semi clear 2</i> (Sampel B2 dengan DFT 80 μ m).....	61
Gambar 5.9 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada <i>coating Clear 1</i> (Sampel C1 dengan DFT 50 μ m).....	62
Gambar 5.10 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada <i>coating Clear 2</i> (Sampel C2 dengan DFT 80 μ m).....	62
Gambar 5.11 Hasil Pengujian Adhesi terhadap masing masing sampel.....	64
Gambar 5.12 Bentuk kegagalan pada pengujian adhesi <i>test</i> sampel <i>semi clear 2</i> (sampel B2)	64

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Komposisi kimia dari <i>coating</i> yang akan diteliti.....	3
Tabel 1.2 Corrosivity of Environment (ISO 12944)	5
Tabel 1.3 Laju Korosi untuk kategori lingkungan (ISO 12944)	6
Tabel 3.1 Variasi dan jumlah sample yang akan diteliti.....	21
Tabel 3.3 Pengamatan nilai transparansi secara visual	22
Tabel 3.4 Tebal lapisan <i>Coating</i> yang diaplikasikan.....	23
Tabel 3.5 Nilai rating derajat kerusakan uji sembur kabut garam (ASTM D 1654)	29
Tabel 4.1 Hasil <i>Test</i> Transparansi pencampuran <i>coating</i> secara visual.....	32
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Permeability Test</i> terhadap <i>Coating Black</i> (sampel A dengan DFT 50 μ m).....	43
Tabel 4.3 Hasil Pengujian <i>Permeability Test</i> terhadap <i>Coating Semi clear</i> (Sampel B1 dan B2 dengan DFT 50-80 μ m)	43
Tabel 4.4 Hasil Pengujian <i>Permeability Test</i> terhadap <i>Coating Clear</i> (Sampel C1 dan C2 dengan DFT 50-80 μ m)	44
Tabel 4.5 Hasil Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Black</i> (Sampel A dengan DFT 50 μ m).....	45
Tabel 4.6 Hasil Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Semi clear 1</i> (Sampel B1 dengan DFT 50 μ m).....	46
Tabel 4.7 Hasil Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Semi clear 2</i> (Sampel B2 dengan DFT 80 μ m).....	47
Tabel 4.8 Hasil Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Clear 1</i> (Sampel C1 dengan DFT 50 μ m).....	48
Tabel 4.9 Hasil Uji Sembur Kabut Garam <i>coating Clear 2</i> (Sampel C2 dengan DFT 80 μ m).....	49
Tabel 4.10 Hasil Uji Adhesi masing-masing Sampel.....	49
Tabel 5.1 Ukuran Pori pada masing-masing sampel <i>temporary organic coating</i> . 51	51
Tabel 5.2 Titik Jenuh resapan uap air pada <i>Water vapor permeability Test</i>	56
Tabel 5.3 Nilai permeabilitas masing-masing sampel uji.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran-1. **PT. Radiant Utama Interinsco (2007)**. *Standard Operating Procedure for Cleaning and Coating of Oilfield Tubular*
- Lampiran-2. **PT. Rephoun Polychemic Persada**. *Technical product for RC-112 (Anti rust Bitumen Black Coating)*
- Lampiran-3. **PT. Rephoun Polychemic Persada**. *Technical product for RC-102T (Anti rust Transparent Coating)*
- Lampiran-4. **ASTM B 117-97 (Reapproved 1997)**. *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*
- Lampiran-5. **ASTM D 714-02 (Reapproved 2002)**. *Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of paints*
- Lampiran-6. **ASTM D 1653-03 (Reapproved 2003)**. *Standard Test Method for Water Vapor Transmission of Organic Coating Films*
- Lampiran-7. **ASTM D 1654-03 (Reapproved 2000)**. *Standard Test Method for Evaluating of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments*
- Lampiran-8. **ASTM D 4541-02 (Reapproved 2002)**. *Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coating Using Portable Adhesion*
- Lampiran-9. **ASTM D E 3-95 (Reapproved 1995)**. *Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens*
- Lampiran-10. **ASTM D E 1645-94 (Reapproved 1994)**. *Standard Practice for the Preparation of Dried Paint Samples for Subsequent Lead Analysis by Atomic Spectrometry*
- Lampiran-11. **MEE Y. SHELLEY**. *Polimer Data Handbook. Alkyd Resin Properties (Copyright © 1999 by Oxford University Press, Inc.)*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu faktor penunjang keberhasilan suatu industri adalah kelancaran proses produksi yang sangat ditentukan oleh kondisi sumber daya seperti manusia, mesin atau sarana penunjang lainnya. Kondisi siap pakai dari mesin dan peralatan tersebut dapat dijaga dan ditingkatkan kemampuannya dengan menerapkan program perawatan yang terencana, teratur dan terkontrol.^[1]

Begitu juga di industri minyak & gas, khususnya di bagian explorasi dan pengeboran. Peralatan/equipment untuk keperluan pengeboran dari segi pemakaiannya terdiri dari material yang terkosumsi untuk sumur dan material tidak terkosumsi sumur. Biaya, waktu, kualitas merupakan suatu rangkain yang tidak terpisahkan selama melakukan aktivitas pengeboran, akibat yang terjadi dari kegagalan ini adalah pembengkakan biaya yang sangat tinggi.

Supply base merupakan tempat untuk mendukung operasional pengeboran lepas pantai. Aktivitas logistik dan manajemen material dilakukan ditempat ini, termasuk aktivitas perawatan dan inspeksi material yang baru datang atau yang akan dikirim kelokasi pengeboran. *Supply base* biasanya berada dikawasan pinggir laut (*marine*) dengan alasan untuk memudahkan transportasi melalui laut. Dan juga kebanyakan berada dalam kawasan industri. Lingkungan seperti ini sangat korosif terhadap material logam, untuk material yang kecil dan sensitif akan disimpan di dalam warehouse tertutup. Sedangkan untuk material yang berukuran besar seperti Casing dan Tubing disimpan di tempat terbuka dalam bentuk rak – rak tersusun rapi.

Casing dan Tubing inilah yang menjadi perhatian prioritas dalam perawatan, jumlahnya yang banyak dan kondisi yang rentan terhadap serangan korosi memerlukan strategi yang khusus dalam menyusun waktu untuk inspeksi dan perawatan. Salah satu perawatan yang dilakukan adalah dengan mengecat ulang secara berkala. Selama ini proses ini dilakukan setiap 6 bulan, hal ini dikarenakan rekomendasi dari produsen cat ataupun dari aturan perusahaan. Untuk perusahaan yang memiliki jumlah pipa yang banyak serta keterbatasan

ruang kerja menyebabkan siklus ini sangat susah untuk diterapkan. Sehingga beberapa perusahaan mencari cara sendiri untuk mengatasi persoalan ini. Pengalaman dilapangan melalui proses inspeksi membuktikan bahwa tidak semua casing dan tubing harus dimaintain setiap enam bulan.



Gambar 1.1 Kondisi Pipa dan Tubing ditempat penyimpanan (*supply base*)

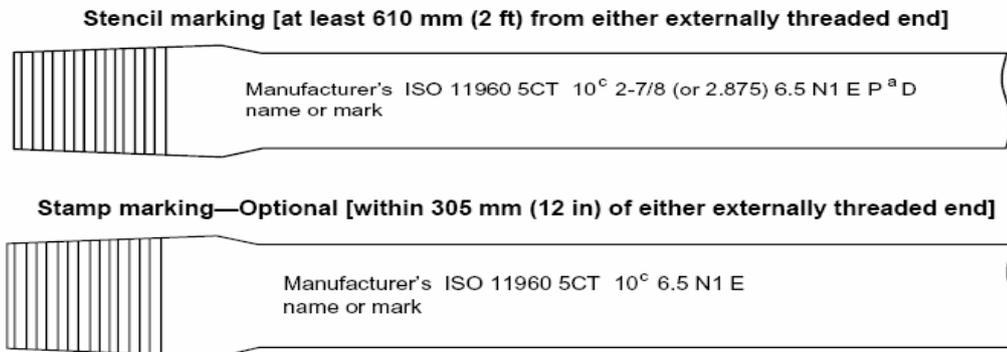
Manufaktur Pipa dan Tubing harus mengerti tentang peraturan lingkungan hidup, kualitas dan biaya dari *coating* sebelum ditentukan *temporary coating* yang mana yang akan diaplikasikan untuk produk mereka.

1.2. *Temporary Coating Pada Oil Country Tubular Goods (OCTGs)*

Istilah *Oil Country Tubular Goods (OCTGs)* dikenal di API 5CT (*Specification for Casing & Tubing*), *OCTGs* digunakan untuk keperluan pengeboran minyak dan gas bumi, terdiri dari berbagai macam ukuran, kelas, tebal, tipe sambungan dan jenis material. Semua kriteria tersebut diberi tanda pada bagian luar pipa.

Pada umumnya aplikasi *temporary coating* pada *OCTGs* adalah jenis transparan, hal ini dimaksudkan untuk menjaga tanda-tanda tersebut (*traceability*). Namun ada juga yang tidak transparan, biasanya bewarna hitam (*full color*), Masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan, perbedaan akan terlihat

untuk penyimpanan dalam jangka waktu yang lama. Dimana selama ini jenis warna hitam diasumsikan mempunyai ketahanan korosi yang lebih lama dari transparan.



Gambar 1.2 Contoh penandaan pada Pipa (API 5CT)

1.3. Batasan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah meliputi pengaruh pigmen pada *temporary coating* terhadap ketahanan korosi dilingkungan atmosfer laut, dan mengetahui pengaruh variasi ketebalan lapisan film terhadap performa *coating*, dengan meneliti beberapa sample dari salah satu produsen *organic coating solvent base* yang memiliki komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 1.1 Komposisi kimia dari *coating* yang akan diteliti

COMPONENT	CAS#	%RANGE		
		A (Black)	B ^{*)} (Semi clear)	C (Clear)
Toluene	108-88-3	30-40	30-40	30-40
Alkyd resin	68333-62-0	20-40	20-40	20-40
Bituminous Material		40-50	10-30	0
Aliphatic Hydrocarbon Solvent	64742-82-1	0	20-30	30-40

^{*)} Mixture of A+ C

(Rephoun Chemical, Material Safety Data Sheet, 2008)

Material *substrat* yang digunakan adalah potongan baja karbon steel (A-36). *Coating* di aplikasikan dengan *brush* dan menggunakan standard SSPC SP10 untuk persiapan permukaan. *Coating* ini akan di evaluasi karakteristiknya,

kekuatan adhesi antara *substrat* dengan *coating* serta untuk mendapatkan informasi tentang ketahanan korosi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Permeability* dan *Porosity*.

Studi pengaruh *bituminous* terhadap *temporary coating* dalam pembentukan pori dan permeabilitas serta bentuk interlocking pada *substrat* nya

Test yang dilakukan:

Karakteristik mikrostruktur dan kondisi pada bagian antara *coating* dengan permukaan pipa dengan Scanning Electron Microscope (SEM).

Water vapor permeability Test

2. Ketahanan Korosi dari *Coating*.

Mengetahui peforma dari setiap jenis *temporary coating* terhadap ketahanan korosi dilingkungan atmosfer laut. (asumsi mengandung ion Cl⁻).

Test yang dilakukan:

Corrosion Resistance with Salt Spray Test

3. Ketahanan Adhesi *Coating* dengan *Substrat*

Untuk mengetahui besarnya gaya ikatan antara *coating* dan *substrat* atau bentuk kegagalan yang terjadi akibat gaya tarik terhadap *coating*.

Test yang dilakukan:

Pull Off Adhesion Test dan SEM.

1.5. Hipotesis

Pengaruh korosi terhadap kerusakan logam merupakan hal yang serius untuk sektor industri terutama yang berlokasi di daerah pantai. Salah satu cara penanggulangan serangan korosi/karat terhadap struktur logam adalah dengan cara menggunakan lapisan bahan organik atau cat. Keunggulan lapisan cat pada sistem proteksi korosi mudah cara penerapannya, dapat dilapis ulang dan lapisannya memiliki nilai estetika. Faktor sangat penting yang mempengaruhi umur lapisan cat terletak pada kelayakan persiapan permukaan logam sebelum dilapisi cat.

Perbedaan komposisi kimia antara *temporary coating* yang akan diteliti adalah terletak pada kandungan *bituminous material* (organic) yang berfungsi untuk meningkatkan ketahanan korosi, dimana lebih tahan terhadap perubahan kondisi temperatur dan cuaca yang ekstrim, didalam *coating* sendiri bituminous / *bituminous* berfungsi sebagai pigmen dan dikarenakan warna dasarnya adalah coklat kehitaman maka juga berfungsi sebagai pewarna. Bentuk dari *pigmen* ini belum diketahui apakah flakes atau bulat, dalam hal hubungannya terhadap (oksigen atau air). Selain itu jumlah pigmen juga dibatasi oleh nilai kritisnya. Sedangkan unsur *Aliphatic Hydrocarbon Solvent* berfungsi hanya sebatas pelarut non aromatik.

Dari teknikal spesifikasi produk yang akan diuji (*Black* dan *Clear*), untuk mendapatkan ketahanan selama 6 bulan, dibutuhkan *Dry Film Thickness* (DFT) setebal 40-60 μm pada lingkungan terbuka. Dari Tabel 1.2 Corrosivity of Environment (ISO 12944) (*Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*) dinyatakan lingkungan tempat penyimpanan pinggir pantai dan industri dapat dikategorikan C3 (Medium).

Tabel 1.2 Corrosivity of Environment (ISO 12944)

			Exterior	Interior	D.F.T*
C1, C2	Very low - low	<10-200 g/m ² (1.3-25 μm)	Rural areas, low pollution, dry.	Heated buildings/neutral atmospheres. Unheated buildings, possible condensation	75 μm 200 μm
C3	Medium	200-400 g/m ² (25-50 μm)	Urban and industrial atmospheres Moderate SO ₂ pollution Moderate coastal Cl)	Production rooms with high humidity and air pollution	200 μm
C4	High	40-650 g/m ² (50-80 μm)	Industrial and coastal.	Chemical processing plants	240 μm (Zinc) 280 μm (Non-zinc)
C5-I	Very high industrial	650-1500 g/m ²	Industry with high humidity and aggressive atmosphere		320 μm
C5-M	Very high marine	650-1500 g/m ²	Marine coastal, offshore High salinity		320 μm

Dimana besarnya laju korosi untuk lingkungan tersebut adalah:

Tabel 1.3 Laju Korosi untuk kategori lingkungan (ISO 12944)

Category	Short term	Long term
	(g m ⁻² year ⁻¹)	(mm year ⁻¹)
C ₁	CR ≤ 10	CR ≤ 0.1
C ₂	10 < CR ≤ 200	0.1 < CR ≤ 0.5
C ₃	200 < CR ≤ 400	1.5 < CR ≤ 6
C ₄	400 < CR ≤ 650	6 < CR ≤ 20
C ₅	650 < CR	20 < CR

Dari

Tabel 1.3 diatas, ISO 12944 tersebut menyimpulkan bahwa minimal DFT dilingkungan C3 untuk waktu 6 bulan adalah 30 μm.

C3	120μm	≡	Low	Low Corresponds to 2-5 years
	160μm	≡	Medium	Medium Corresponds to 5-15 years
	200μm	≡	High	High Corresponds to > 15 years

Untuk mendapatkan ketahanan yang lebih, penambahan tebal lapisan film adalah suatu yang logis, tapi belum ada data yang spesifik menjelaskan sejauh mana dampak peformanya. Dan dari segi aplikasi, apakah memungkinkan aplikasi secara berlapis untuk mendapatkan ketebalan yang diinginkan. Namun dari penggunaannya ketahanan dari *coatingnya* ini dibatasi maksimum satu tahun.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi *Temporary Coating*

Temporary Coating adalah jenis *coating* yang diaplikasikan kesuatu *substrat* material yang bertujuan untuk memelihara kualitas dari material dalam waktu jangka pendek (sementara) dan *coating* tidak begitu diperlukan pada penggunaan akhir dari suatu produk, umumnya digunakan selama proses pengiriman dan penyimpanan sementara.

Umumnya *coating* memiliki gaya adhesi yang sangat kuat antara lapisan *coating* dengan *substrat*, dalam artian mempunyai daya ikat yang kuat terhadap perubahan cuaca, reaksi kimia, goresan, dan juga benturan serta perubahan tegangan, namun tidak diisyaratkan pada jenis *temporary coating* atau *strippable coating*.^[2]

Pada *OCTG's*, *temporary coating* diaplikasikan setelah proses pabrikan hingga diterima oleh pihak pembeli. Tujuan utama dari tipe *coating* ini adalah untuk mencegah dari karat merah (*iron oxide* untuk pipa baja) atau karat putih (*zinc oxide* untuk pipa galvanize) selama penyimpanan dan pengiriman dan kemudahan aplikasi dari pengecatan akhir.

Ketahanan *temporary coating* untuk *OCTG's* terdiri dari^[3]:

1. *Coating* untuk perlindungan selama transit (*short term*).

Coating ini hanya diberikan pada permukaan luar dari pipa untuk perlindungan korosi selama transit, minimal bisa melindungi selama 3 bulan.

2. *Coating* untuk penyimpanan dalam waktu lama (*long term*).

Untuk penyimpanan dalam waktu lama, *coating* ini diaplikasikan pada bagian luar dan dalam pipa, untuk melindungi serangan korosi, terutama ketika disimpan di lingkungan laut. Lamanya waktu tergantung pada persetujuan saat jual beli, biasanya dari supplier *coating* merekomendasikan untuk perlindungan selama 6 bulan.

Hal-hal yang penting untuk *temporary coating* pada OCTG's adalah ^[4]:

1. Perlindungan terhadap korosi harus efektif dilingkungan laut selama penyimpanan tergantung dari permintaan sewaktu pembelian, perubahan minor bisa ditoleransi.
2. Tidak diperlukan pembersihan dari *coating* sebelum pipa diaplikasikan.
3. Aplikasi yang tepat dari *coating* ini adalah penilaian dari parameter berikut:
 - Kekeringan pipa
 - Kebersihan pipa
 - Temperature aplikasi
 - Ketebalan lapisan film dari *coating*

Kebanyakan *temporary coating* ini rusak ketika pipa atau tubing melalui tahap proses pabrikasi, seperti *welding*, *bending*, *heat treatment*, *finishing* atau *handling*. Apakah diperlukan meng-*coating* produk akhir untuk estetika atau perlindungan karat, tergantung pada aplikasinya.

Empat tipe utama dari *temporary coating* yang dapat diaplikasikan pada pipa baja dan tubing, adalah : ^[4]

- *Conventional solvent borne*
- *Waterborne coating*
- *Ultraviolet (UV) Coating*
- *Chromate-Based conversion treatment*

Kriteria utama untuk pemilihan *coating* ini adalah kesesuaian terhadap peraturan lokal untuk emisi dari *Volatile organic compound (VOC)* di daerah dimana pipa akan di *coating*, nilai investasi dari peralatan-peralatan *coating*, biaya *coating* perluas permukaan, kualitas dari *coating*, kemudahan dalam aplikasi, dan waktu pengeringan.

Walaupun ada banyak criteria dalam pemilihan *temporary coating*, kesesuaian dengan kegunaan akhir sangatlah penting. Sebagai contoh, *oil country tubular goods (OCTGs)* harus mempunyai *temporary coating* yang larut dalam minyak mentah. Jika *coating* tidak larut, *coating* akan mengelupas dan menghambat pompa dan saringannya.

2.2. Tipe *Temporary Coating*

2.2.1. *Conventional Solventborne Coatings*

Coating ini telah digunakan selama bertahun-tahun dan dianggap menjadi standar industry, karena adanya perubahan dari aturan pemerintah mengenai VOCs, penggunaannya akan dihapus. *Coating* ini terdiri dari *alkyd resin base* dan dikurangi dengan pelarut seperti *xylene*, *mineral spirits* dan *varnish makers' and painters' (VM&P) naphtha*. Dan tersedia dalam berbagai level dan *solids content*.

Keuntungan dari *coating* ini adalah :

1. Kecepatan yang cukup untuk waktu pengeringan (*drying time*).
2. Ketahanan korosi yang bagus (*corrosion resistance*).
3. *Clear*, glossy finish.
4. Mineral spirits dan *VM&P naphtha* adalah bebas dari *hazardous air pollutant-(HAP)*
5. Tersedia dalam versi padatan tinggi dimana berisi tingkatan yang lebih rendah dari VOCs.
6. Harga yang paling murah dari jenis *coating* yang lain.
7. Lebih mudah diaplikasi diatas minyak dan *mill scale*.

Kerugian:

1. Dalam versi padatan yang rendah, mempunyai VOCs yang tinggi.
2. Potensi berbahaya dan mudah terbakar.

2.2.2. *Waterborne Coatings*

Coating ini semakin populer karena rendah toksisitas, lebih rendah VOCs, dan mudah menipis.

Keuntungan :

1. Nilai VOCs yang rendah, juga tersedia dalam system larutan yang bebas larutan HAP.
2. Risiko terbakar yang rendah, nilai flash point > 120 °F.
3. *Water-thinnable*. Mudah dibersihkan.

4. Dapat di paksa kering (*heat-cured*), mendapatkan hasil kualitas tinggi.

Kerugian:

1. Waktu pengeringan yang tidak konsisten, dimana tergantung dari kelembaban dan temperature.
2. Harga yang tinggi dari bahan baku (resin and cosolvents).
3. *Water-thinnable*, tetapi terdiri dari beberapa pelarut organik.
4. Bau yang tidak menyenangkan, umumnya seperti bau amoniak.
5. Lapisan pipa harus relative bebas dari minyak, kotoran.
6. Tidak kompatibel dengan *Solvent base coating* yang lain, semua tanki/drum, dan peralatan untuk meng-*coating* harus dibersihkan sebelum digunakan untuk aplikasi jenis *coating* yang lain.
7. Kurang tahan terhadap embun, jika *coating* ini belum begitu kering.

2.2.3. *UltraViolet Coatings*

Jenis *Coating* ini adalah bereaksi terhadap sinar dan terpolimerisasi cepat sekali ketika terkena radiasi UV, Tingkat laju reaksi dari *coating* ini dinyatakan dalam meter per menit dan akan bervariasi dengan kekuatan cahaya, jumlah oksigen dalam ruang, dan lamanya *coating* terkena cahaya.

Keuntungan:

1. Bereaksi secara instan. Tidak memerlukan waktu pengeringan, sehingga produk dapat di angkat segera dan disimpan di luar ruangan.
2. 100 percent solids. Tidak ada pelarut atau VOCs.
3. Mengurangi limbah. Hasil *coating* tidak lari dan menetes < 1 mil thickness.
4. Meningkatkan ketahanan korosi.
5. Meningkatkan penampilan *coating*.
6. Tidak memerlukan pelarut.

Kerugian:

1. Lebih mahal dari pada *coating* pada umumnya.

2. Bau yang sangat kuat pada beberapa kasus.
3. Berbahaya, dapat menyebabkan alergi dan mudah terbakar matahari.
4. Biaya equipment untuk perawatan yang mahal (*replacement of UV bulbs*).
5. *Airless spray* equipment tidak direkomendasikan.

2.2.4. *Chromate-based Conversion Treatments*

Coating ini digunakan pada pipa galvanize untuk mencegah korosi putih (*zinc oxide*).

Keuntungan:

1. Ikatan yang sangat bagus pada pipa galvanize membentuk ikatan *Zinc chromate*. *Extensive corrosion protection*.
2. Biaya yang rendah.
3. Fleksibel dalam aplikasi, bisa di spray, di brush dan di celup.
4. Produk dapat di handle segera setelah kering.

Kerugian:

1. *High toxicity (chromic acid and its chromate derivatives)*.
2. Dilarang di beberapa area seperti Philadelphia.
3. Menghasilkan limbah berbahaya ketika material menjadi scrap.

Coating yang lain:

2.2.5. *Hot melts*

Umumnya adalah padatan pada temperature ruang, tidak mengandung pelarut organik, jadi aman digunakan dan cocok dengan lingkungan, problem yang sering terjadi :

1. *Coating* harus dipanaskan untuk mencair untuk penyemprotan.
2. Perubahan temperatur ambient akan menyebabkan efek atomize penyemprotan dan waktu pengeringan yang drastis.

3. Sulit untuk membentuk lapisan tipis.
4. Bersih, bebas scale sangat disyaratkan untuk persiapan permukaan

2.2.6. Powder Coating

Mengeliminasi pelarut organic, bagaimanapun kelihatan tidak cocok untuk membentuk lapisan yang tipis karena:

1. Biaya energi yang besar (*coating* must be baked on).
2. Lapisan yang tipis (less than 2 mils) tidak cukup terbukti untuk melindungi korosi.
3. Biaya *coating* yang mahal.
4. Bersih, bebas scale sangat disyaratkan untuk persiapan permukaan

2.3. Organik Coating (Cat)

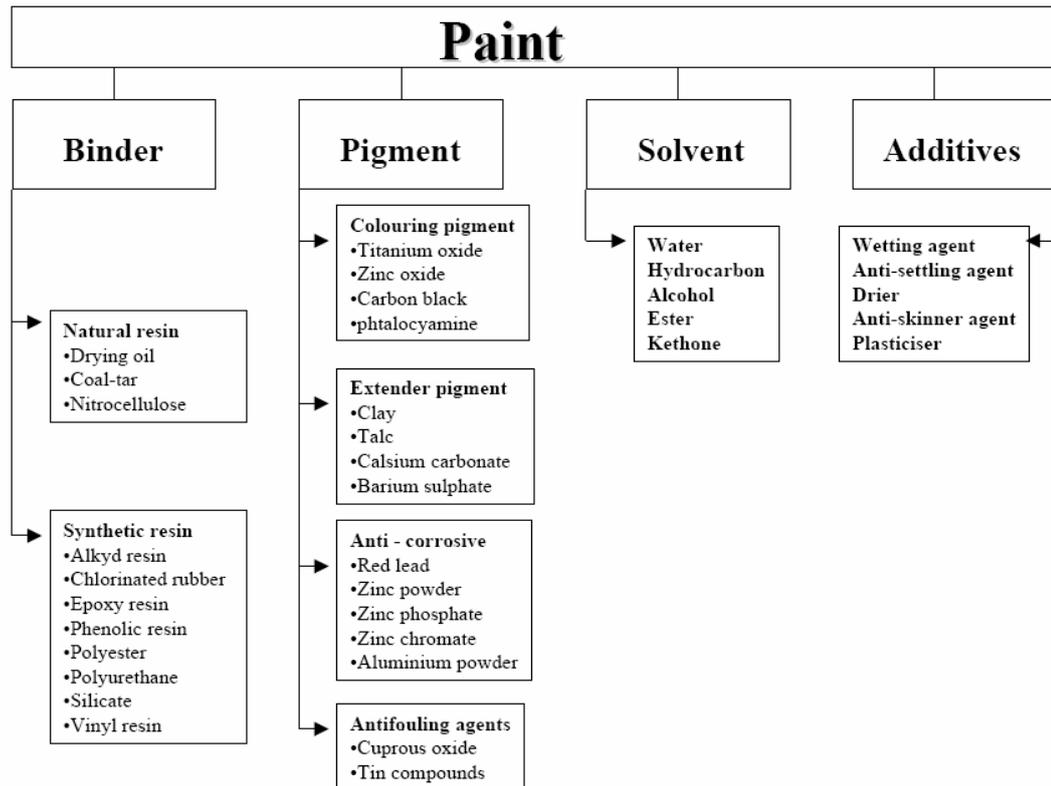
2.3.1. Definisi Cat

Cat atau Paint adalah suatu produk yang dapat berbentuk cair ataupun serbuk, terkandung di dalamnya suatu pigmen, yang mana ketika diaplikasikan pada suatu *substrat* akan membentuk suatu lapisan film *opaque* yang berfungsi untuk melindungi, dekorasi ataupun untuk meningkatkan sifat teknik tertentu ^[5].

2.3.2. Komposisi Cat

Cat umumnya tersusun dari bahan-bahan berikut ini ^[4]:

- *Binder* / Pengikat / Resin polimer
- Pigmen / *Extender*
- *Solvent* / Pelarut
- Aditif



Gambar 2.1 Komponen-komponen penyusun cat
(Jotun, *Jotun Paint School Modul Chapter 2 – What is Paint*, Jotun, Norwegian, 1998)

Bahan-bahan tersebut memiliki pengaruh penting terhadap sifat cat yang dihasilkan. Untuk mendapatkan suatu cat yang memuaskan bila dilihat dari aspek teknik, kesehatan, keselamatan, lingkungan serta ekonomi sangatlah sulit. Perubahan kecil dalam komposisi cat dapat sangat mempengaruhi produk cat yang dihasilkan. Jika ada penambahan zat atau bahan lain yang tidak direkomendasikan oleh pembuat cat maka menyebabkan keseimbangan yang ada dalam cat akan terganggu sehingga dapat mengakibatkan perubahan sifat yang juga dapat berujung pada kegagalan aplikasi cat^[6].

a. Pengikat (*Binder*)

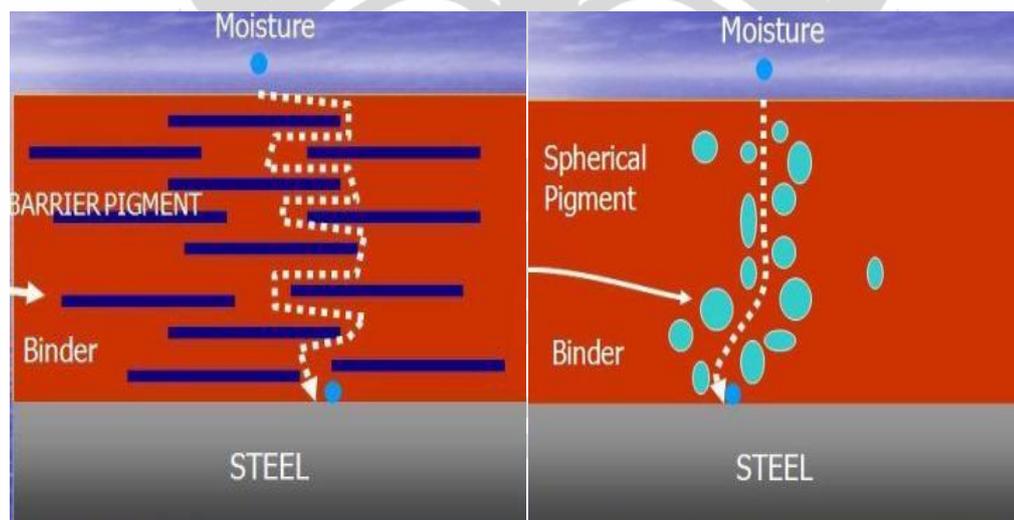
Binder atau media pengikat merupakan komponen penting yang menentukan sifat-sifat fisik dan kimia cat. Komponen ini setelah mengalami pengeringan akan merupakan suatu lapisan yang saling berikatan dengan pigmen-pigmen yang tersebar didalamnya serta terikat pada *substrat*. *Binder* dan pigmen ini akan menentukan sifat-sifat daya adhesi, elastisitas, tahan cuaca, tahan senyawa kimia, tahan cahaya / UV, dan lain-lain. Beberapa jenis *binder* seperti

pada Gambar 2.1 antara lain *drying oil, coal tar, alkyd resin, epoxy resin, vinyl resin, chlorinated rubber, polyurethane, phenolic resin, polyester, dan silicate*.

b. 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 cat sehingga menambah nilai estetikanya. *Pigmen* pewarna yang digunakan pada cat harus memiliki sifat^[7]:

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



Gambar 2.2 Ilustrasi bentuk pigment terhadap laju moisture

Extender pigments atau biasa disebut bahan pengisi atau *reinforcing pigments* memiliki fungsi tersendiri dalam sistem cat. Suatu *extender* umumnya berbentuk serbuk dan memiliki ukuran tertentu. *Extender* dapat dideskripsikan sebagai suatu pigmen special yang tidak atau sedikit memiliki sifat hiding power. *Extender* biasa digunakan untuk mengganti sebagian pigmen pewarna dan pelindung yang harganya mahal. Selain untuk memodifikasi harga, penggunaan *extender* ini juga dapat ditujukan untuk meningkatkan kualitas cat yaitu tidak mengalami *sagging*

ketika diaplikasikan untuk lapisan yang tebal. Selain itu dengan menambahkan extender dengan komposisi tertentu maka akan didapat tingkat *glossy* yang baik dan konsistensi cat jika diaplikasikan dengan *spray*, *roll* dan *brush*. Selain itu *extender* juga dapat mencegah sedimentasi dari pigmen, meningkatkan sifat mekanik, meningkatkan ketahanan cat terhadap air dan unsur kimia, membentuk lapisan pelindung radiasi sinar ultraviolet.

“Pigments are added to polymeric coatings for enhancing the protective characteristics of the barrier films that are deposited on metal surfaces to prevent corrosion”^[8].

Pigmen anti korosif terbagi menjadi 3 yaitu ^[9]:

1. *Inhibiting pigments.*

Inhibitive pigments biasa digunakan pada lapisan primer. *Pigmen* ini memberikan pengaruh inhibitor dimana akan bereaksi dengan *moisture* yang terserap pada pori-pori lapisan cat dan mempasifkan lapisan agar lebih tahan korosi. Namun pigmen ini tidak direkomendasikan bila digunakan pada aplikasi daerah yang basah karena dapat mempromosikan *osmosis blistering*.

2. *Metallic pigments.*

Metallic pigment ini melindungi korosi dengan cara proteksi katodik ditujukan agar cat memiliki permeabilitas terhadap air dan uap air yang rendah. *Flakes metallic pigment* ini sangat tidak tembus air (*impermeable*) sehingga *moisture* akan sulit untuk kontak langsung dengan *substrat* ditambah pengaruh proteksi katodik yang dimiliki oleh *pigment* ini. Jenisnya ada seng dan alumunium.

3. *Flake formed pigments*

Pigment yang berbentuk serpihan seperti *micaceous iron oxide (MIO)*, memiliki perlindungan terhadap *moisture* yang lebih bagus dibanding pigmen yang berbentuk bulat. Karena pigmen jenis ini akan membuat jalur masuk *moisture* ke *substrat* lebih sulit. Dan memiliki ketahanan terhadap penyusutan yang lebih baik. Jenis lainnya adalah pigmen yang bersifat racun. Pigmen ini adalah untuk cat anti fouling dimana pigmen ini berfungsi untuk mencegah

fouling (tumbuhan atau hewan yang hidup menempel pada struktur yang dilindungi). Contoh pigmen ini adalah Cu_2O , HgO dan lain-lain.

c. Pelarut (*solvent*)

Pelarut adalah suatu cairan yang digunakan untuk melarutkan bahan pengikat di dalam cat serta untuk mengatur viskositas cat. Selain itu, pelarut ini juga menentukan sifat seperti kecepatan pengeringan cat, alur spray, karakteristik penguasan dan gloss. Bahan pengikat atau resin tertentu ada yang sudah memiliki viskositas rendah jadi tidak perlu menggunakan pelarut. Namun kebanyakan dari bahan pengikat adalah suatu material padat ataupun material yang memiliki viskositas tinggi dan harus dilarutkan dalam pelarut organik. Beberapa jenis bahan pengikat seperti epoksi yang berbasis air ada juga yang dapat larut dalam air. Kebanyakan orang yang melakukan pengecatan 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 cat^[7]. Penggunaan pelarut yang tidak sesuai akan menyebabkan terbentuknya porositas, *discolouration*, 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.^[10]

2.3.3. Konsep Formulasi *Coating*

Setelah menentukan komponen-komponen untuk *coating*, maka mereka harus disatukan dalam jumlah yang sesuai. Berikut ini adalah parameter-parameter yang penting untuk formulasi *coating*^[11].

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. Beberapa sifat *coating* dapat secara signifikan dipengaruhi oleh variasi formulasi PVC. Ketahanan abrasi dan kekuatan tarik terbaik biasanya terjadi apabila formulasi *coating* berada di bawah nilai CPVC dan secara cepat akan menurun ketika mendekati nilai CPVC. 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.

3. Densitas, berat solid dan volume solid

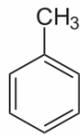
Densitas, berat solid dan volume solid serta %binder dan %pigmen seringkali disebut sebagai konstanta fisik dari *coating*. Densitas biasanya dinyatakan dalam satuan pound per gallon. Berat solid *coating* biasanya dalam bentuk %non volatile, merupakan berat solid dibagi dengan berat total *coating*. Volume solid adalah %volume material non-volatil. Volume solid menentukan berapa luas area yang dapat *dicoating*. Kemudian %binder dan %pigmen merupakan persentase binder dan pigmen dalam *coating*.

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

2.3.4. Komposisi *temporary coating*

1. Toluene

Bewarna bening, tidak larut dalam air, beraroma sama dengan cat *thinner* dan biasanya digunakan sebagai pelarut. Komposisi kimia *toluene* adalah C_7H_8 or $C_6H_5CH_3$ sebagai berikut ^[12]:



2. Alkyd Resin

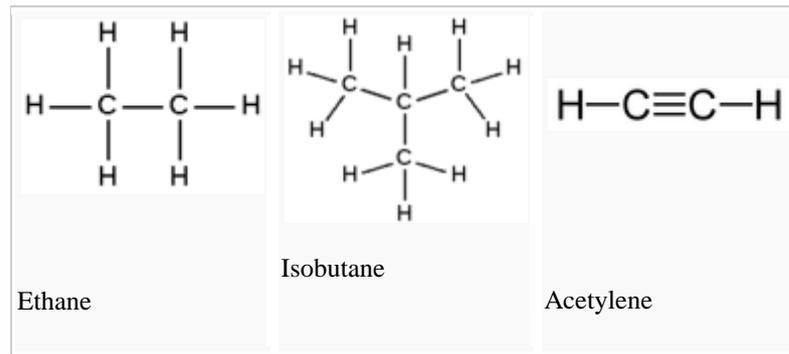
Alk-yl (*alcohol and acid or anhydride*), pada umum digunakan sebagai *binder* pada cat minyak dan cetakan pada casting. Untuk *coating*, *Alkyd* tersedia dipasaran dalam tiga kelas: panjang, menengah, dan pendek. Bentuk ini menunjukkan fraksi relatif dari komponen pengering didalam resin. *Long oil alkyds* mempunyai persentase yang paling tinggi ^[13].

3. Bituminous Material

Bituminous digunakan pada protektif *coating* untuk membuat lebih flexibel dan tahan air, tahan cuaca serta membuat warna lebih gelap. Tergantung dari formula dan grade polimerisasi. Dengan grade polymer atau penguat fiber digunakan sebagai grade fleksibilitas, ketahanan terhadap serangan air, laju uap air dapat dipengaruhi ^[14].

4. Aliphatic Hydrocarbon Solvent

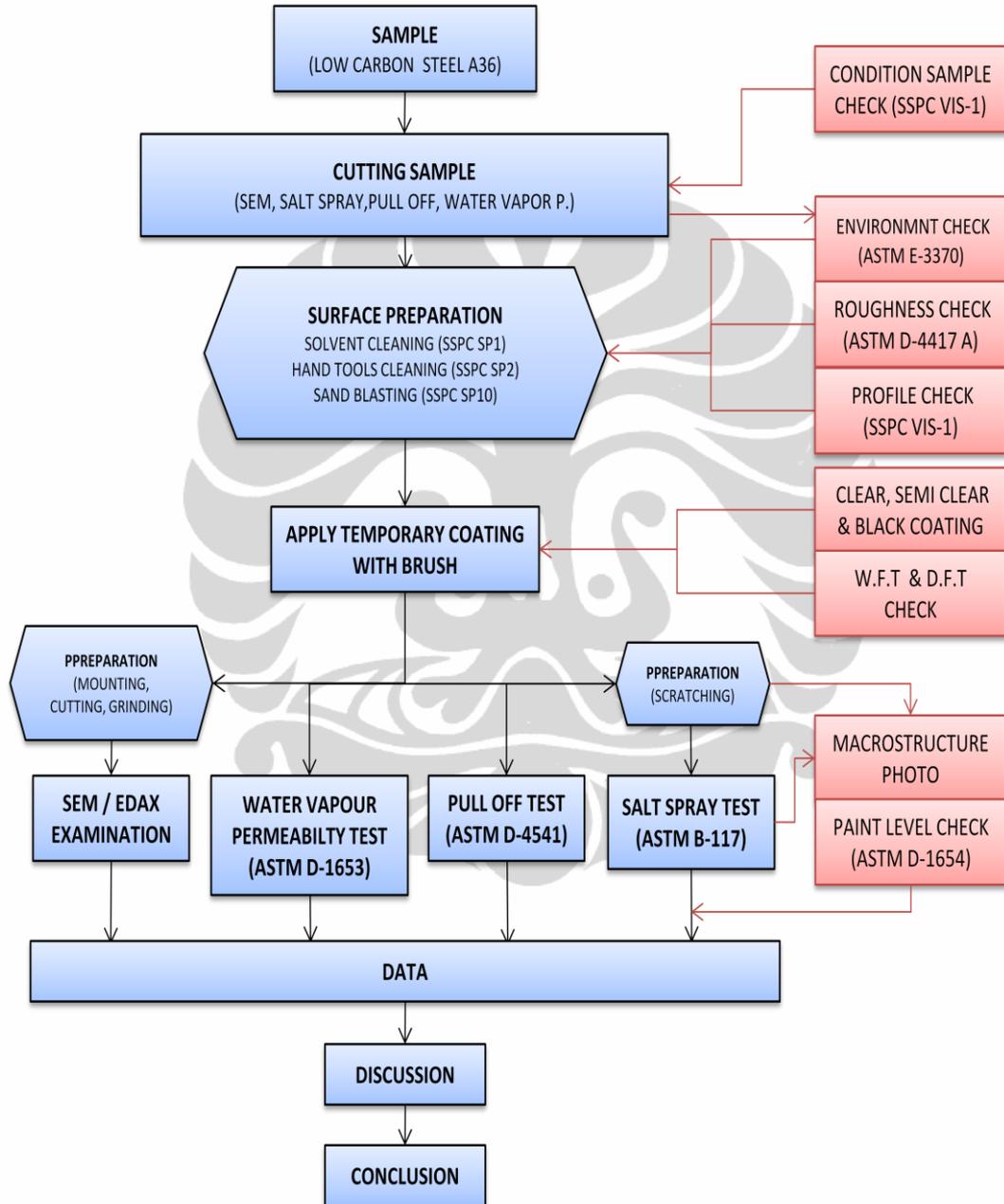
Berfungsi sebagai pelarut dan sangat mudah terbakar, tidak sebagai aromatik. Contoh simpel dari aliphatic adalah methane (CH_4), rantai karbonnya bisa dalam bentuk lurus, bercabang. Sangat banyak digunakan di bunsen burner, LNG dan acetylene di pengelasan ^[15].



3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Benda Uji

Benda uji atau sample adalah potongan pelat baja karbon rendah (A 36) dengan ketebalan 3 mm dengan ukuran sesuai dengan ketentuan penelitian, pemotongan dilakukan dengan gunting plat baja dan di lakukan penyelesaian akhir dengan gerinda. Setelah itu dilakukan persiapan permukaan sesuai dengan yang disyaratkan Sa 2-1/2 sebelum dilapisi dengan berbagai variasi aplikasi cat.

Bahan cat yang digunakan adalah *organic coating solvent base* yang berfungsi sebagai *temporary coating*, dengan komposisi sesuai dengan Tabel 3.1. ketiga jenis cat tersebut (*Coating A, B dan C*) diaplikasi dengan kuas / brush. Tebal lapisan berbeda sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian. Pengukuran ketebalan dilakukan pada waktu basah (W.F.T) dan setelah kering (D.F.T). Cat diaplikasi pada kondisi atmosfer dan kelembaban yang cukup.

Tabel 3.1 Variasi dan jumlah sample yang akan diteliti

NO	Description	Water Vopor Permeability	Salt spray	Adhesive	SEM
1	Standard	ASTM D1653	ASTM B117	ASTM D4541-02	
2	Sample Size (mm)	(50 x 50 x T)	(150 x 100 x T)	(100 x 100 x T)	(20 x 20 x 5)
3	A (<i>Black</i>) (50 μ m)	1	3	1	1
4	Combination				
	B1 <i>Semi clear</i> (50 μ m)	1	3	1	1
	C1 <i>Clear</i> (50 μ m)	1	3	1	1
	B2 <i>Semi clear</i> (80 μ m)	1	3	1	1
	C2 <i>Clear</i> (80 μ m)	1	3	1	1

Specimen identifikasi:

D.F.T	Transparency Value	
	50%	0%
50 Micron	B1	C1
80 Micron	B2	C2

Untuk mendapatkan nilai transparansi 50% atau maksimum transparansi (*Coating B semi transparan*), yaitu nilai dimana suatu *marking* masih dapat di

baca dengan jelas setelah diaplikasikan *coating* ini akan dilakukan pengetesan secara manual dengan variable penambahan *bituminous* material (*Coating A Black*) secara presentasi ke *coating C (clear)* sebelum diaplikasikan berdasarkan Tabel 3.2 apakah nilai transparansinya *Good* atau *Not Good*.

Tabel 3.2 Pengamatan nilai transparansi secara visual

	Bituminous (A Black)				
	5%	10%	15%	20%	25%
C (Clear) 100%					
Result (B Semi clear)	G/NG	G/NG	G/NG	G/NG	G/NG
G =Good, NG=Not Good					

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. 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:

1. Bersihkan 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*
2. Lakukan *degreasing* untuk menghilangkan minyak, debu dan pengotor yang menempel dengan menggunakan air sabun dan kemudian dikeringkan (*SSPC SP1*).
3. *Sand blasting* sesuai dengan standard *SSPC SP 10 (near white blast cleaning)* dilakukan dengan umpan campuran baja berbentuk bulat (*steel shot*) dan bentuk tajam (*steel grit*) sampai mendapatkan nilai *Sa 2-1/2*.

3.3.2. Pengecekan Kondisi Lingkungan

Hal ini dilakukan untuk memastikan keadaan lingkungan saat aplikasikan *coating* sesuai dengan rekomendasi dari manufacturing, prosedur ini mengadopsi salah satu perusahaan yang bergerak dibidang inspeksi (lampiran 1). Dimana tahapannya adalah :

1. Ukur, periksa dan catat temperature udara menggunakan thermometer mercuri, dan temperature permukaan plat dengan *magnetic surface thermometer*.
2. Ukur, periksa dan catat kelembaban udara dengan *digital electronic hygrometer* (RH yang diperbolehkan maksimal 85%).



Gambar 3.2 Uji Temperature dan Humiditas Relative

3. Ukur, periksa dan catat *dew point* dan *dew point* yang direkomendasikan haruslah 3°C diatas temperatur permukaan pelat atau *substrat*.

3.3.3. Proses Pengecatan

Proses pelapisan / pengaplikasian cat dilakukan dengan menggunakan *brush* hingga dicapai *wet film thickness (wft)* yang diinginkan. Pengujian ketebalan basah menggunakan *WFT gauge* sesuai dengan standar ASTM D4414 dan ketebalan kering menggunakan *DFT electromagnetic gauge* sesuai dengan standar ASTM D1186.

Tabel 3.3 Tebal lapisan *Coating* yang diaplikasikan

NO	Sampel	Color	Volume Solid %	W.F.T	D.F.T
1	A	Black	40	125	50
2	B1	Semi clear	35	143	50
3	B2	Semi clear	35	229	80
4	C1	Clear	30	167	50
5	C2	Clear	30	267	80

3.3.4. Pengamatan Struktur Mikro dengan *Scanning Electron Microscope* (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:

- a. Potong sample dengan alat *low abrasive cutting*. Proses pemotongan ini menggunakan alat potong dengan mata pemotong berupa diamond dan menggunakan kecepatan potong yang sangat lambat agar lapisan cat tidak rusak dan penampang antara cat dan *substrat* tetap terlihat bila dilihat dengan mikroskop optic.
- b. Buat *mounting* pada sampel untuk memudahkan memegang sampel pada saat pengerjaan berikutnya.
- c. Amplas permukaan sampel menggunakan kertas amplas dengan grit, 800, 1200, dan 1500.
- d. Poles permukaan sampel yang telah rata dan halus dengan menggunakan kain poles berupa beludru spesial yang ditujukan agar lapisan cat tidak rusak.
- e. Bilas permukaan sampel dengan air kemudian mengeringkannya dengan alat pengering.
- f. Lakukan *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 alah *Scanning Electron Microscope* (SEM)



Gambar 3.3 Persiapan Pengamatan Mikrostruktur

- g. Amati permukaan sampel dan memfoto daerah struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik.
- h. Amati struktur mikro serta menguji komposisi pada daerah void / pori yang terbentuk dengan menggunakan SEM.

3.3.5. Pengujian Permeabilitas

Pengujian *water vapor permeability* (atau permeabilitas terhadap uap air) ini dilakukan untuk mengetahui laju dari 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 (Gambar 3.4 & Gambar 3.5) dengan temperature yang tetap terjaga sekitar 25-27 °C dan humiditas relative sekitar 90-95%. Ketebalan lapisan cat adalah 50-80 mikron dan luas daerah uji adalah sebesar 38.5cm². 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 D1653-03, dari pengukuran tersebut maka akan didapat nilai laju transmisi uap air (*mvt*) pada lapisan cat, lalu dengan membagi nilai *mvt* 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 D1653-03:

$$\text{Permeability (P)} = \text{WVP} \cdot \ell \quad \dots\dots(3.1)$$

Dimana:

$$\text{WVT} = \frac{G}{T} \quad \dots\dots(3.2)$$

$$\Delta P = S (R_2 - R_1) \quad \dots\dots(3.3)$$

$$\text{WVP} = \text{WVT} / \Delta P \quad \dots\dots(3.4)$$

WVT : laju transmisi uap air (grams per m² per 24 h)

G : perubahan berat lapisan (gr)

T : waktu terjadinya perubahan berat (24h)

- A : luas area lapisan yang diuji (m^2)
 Δp : perbedaan tekanan uap air (mmHg)
S : tekanan udara pada lingkungan (mmHg)
R1 : humiditas pada sumber uap air awal (%)
R2 : humiditas pada chamber (%)
WVP : laju perembesan uap air pada lapisan yang memiliki tekanan uap yang berbeda ($gr\ m^{-2}24h^{-1}\ mmHg^{-1}$)
 ℓ : ketebalan lapisan (μm)



Gambar 3.4 *Water Vapor Preparation*



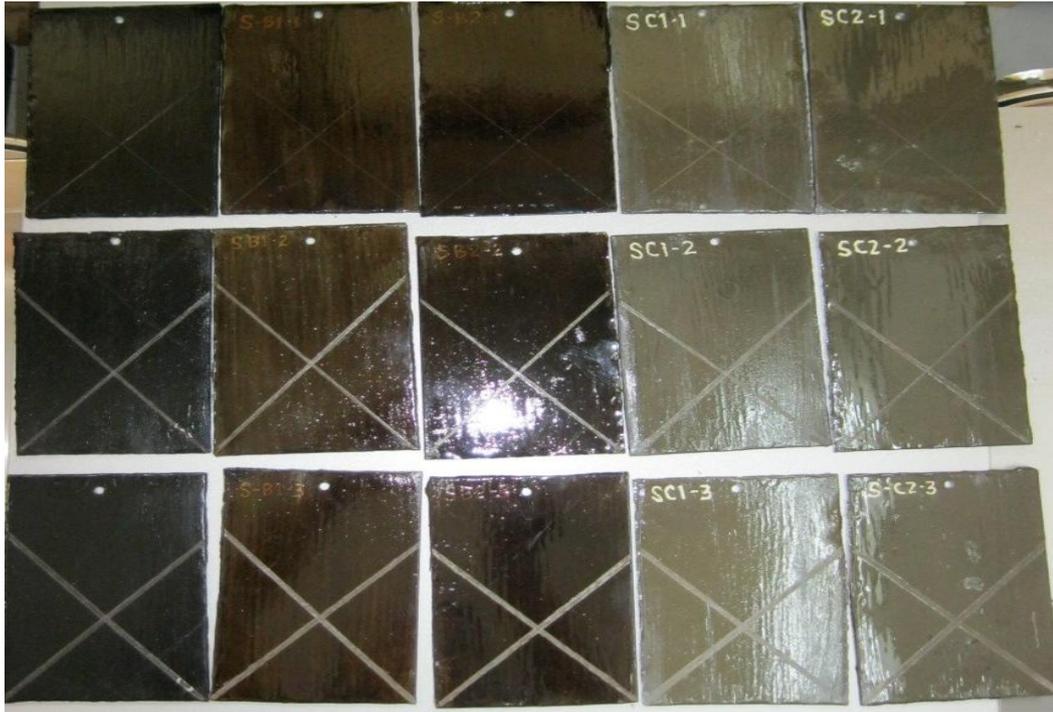
Gambar 3.5 Wajan untuk Uji *Water Vapor Permeability*

3.3.6. Pengujian Sembur Kabut Garam

Pengujian sembur kabut garam dengan menggores lapisan cat ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan korosi dari material semua jenis material cat yang ada. Metoda pengujian dengan sembur kabut garam (*salt spray test*) dilakukan secara berkesinambungan selama 120 jam, sesuai dengan standar ASTM B117-02. Pengujian dilakukan di laboratorium kimia B4T Bandung, dengan kondisi :

- Dalam ruang sembur kabut garam, benda uji berukuran 100 x 150 mm diletakkan pada tempat yang berbentuk sudut terhadap bidang horizontal dan sejajar dengan arah aliran kabut garam. Setiap benda uji diletakkan sedemikian rupa sehingga kabut garam menyentuh seluruh permukaan benda uji.
- Kedalam ruang tersebut disemurkan larutan NaCl 5% dalam air suling dengan tekanan udaran yang diatur tetap (-0.7 Kg/cm²) sehingga laju pengkabutan konstan dan suhu dalam ruang pengkabut juga diatur tetap (sekitar 28 °C). Pengaruh kabut garam akan menimbulkan kerusakan pada benda uji. Kerusakan atau ketahanan benda uji diperiksa dan diamati setiap 24 jam selama 120 jam.
- Larutan pengabut garam adalah larutan NaCl 5% dalam air suling. Garam NaCl yang digunakan harus bebas dari Nickel (Ni) dan Tembaga (Cu).

Metoda pengujian *salt spray* yang digunakan adalah metoda goresan, dimana benda uji yang merupakan lapisan cat digores dengan tool steel setebal kurang lebih 1 mm, 2mm dan 3mm hingga terlihat *substrat* baja. Sehingga proses korosi akan dipercepat dengan adanya goresan ini. Laju korosi dilihat berdasarkan pertambahan lebar goresan, semakin lebar maka semakin cepat proses korosi terjadi, dan semakin lebar goresan yang dihasilkan maka *rating* dari lapisan cat semakin buruk.



Gambar 3.6 Hasil preparasi goresan pada uji sembur kabut garam



Gambar 3.7 Alat uji sembur kabut garam (Lab kimia B4T Bandung)



Gambar 3.8 Susunan sampel dalam kabinet uji sembur kabut garam

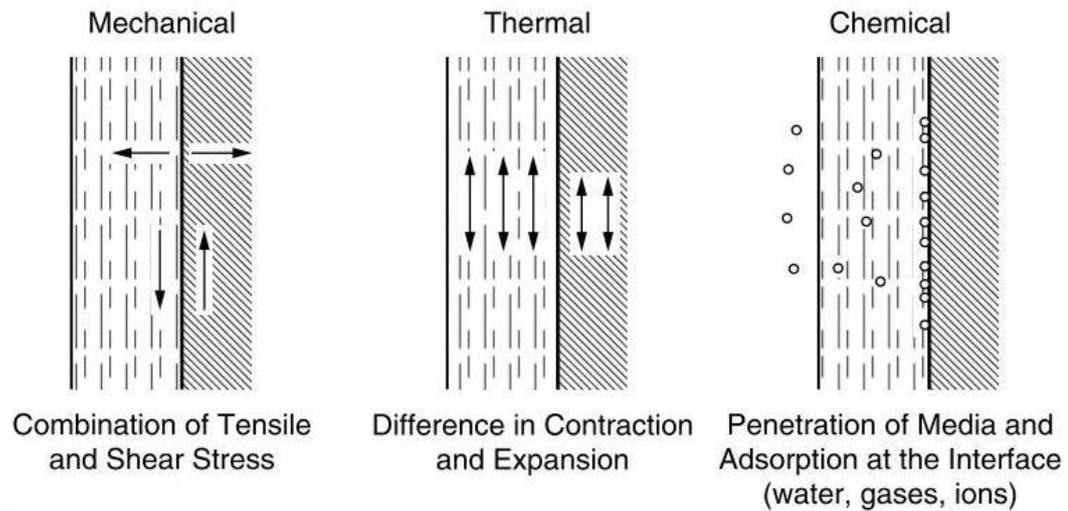
Penilaian derajat kerusakan cat berdasarkan standar ASTM D714 (tingkat pelepasan) dan ASTM D1654 (evaluasi cat pada lingkungan korosi). Tingkat pelepasan ini dilihat dan dibandingkan dengan foto/gambar yang ada pada standar. Sedangkan untuk evaluasi cat pada lingkungan korosi yang diukur adalah nilai perbedaan gap goresan pada cat sebelum dilakukan pengujian dan setelah dilakukan pengujian selama 120 jam. Pengukuran lebar gap dilakukan dengan menggunakan *measuring microscope*. Dari pertambahan nilai atau gap goresan awal dan akhir akan diketahui *rating* cat yang diuji berdasarkan tabel sebagai berikut:

Tabel 3.4 Nilai rating derajat kerusakan uji sembur kabut garam (ASTM D 1654)

Representative Mean Creepage from Scribe	
Milimetres	Rating Number
0	10
0 to 0.5	9
0.5 to 1.0	8
1.0 to 2.0	7
2.0 to 3.0	6
3.0 to 5.0	5
5.0 to 7.0	4
7.0 to 10.0	3
10.0 to 13.0	2
13.0 to 16.0	1
16.0 to more	0

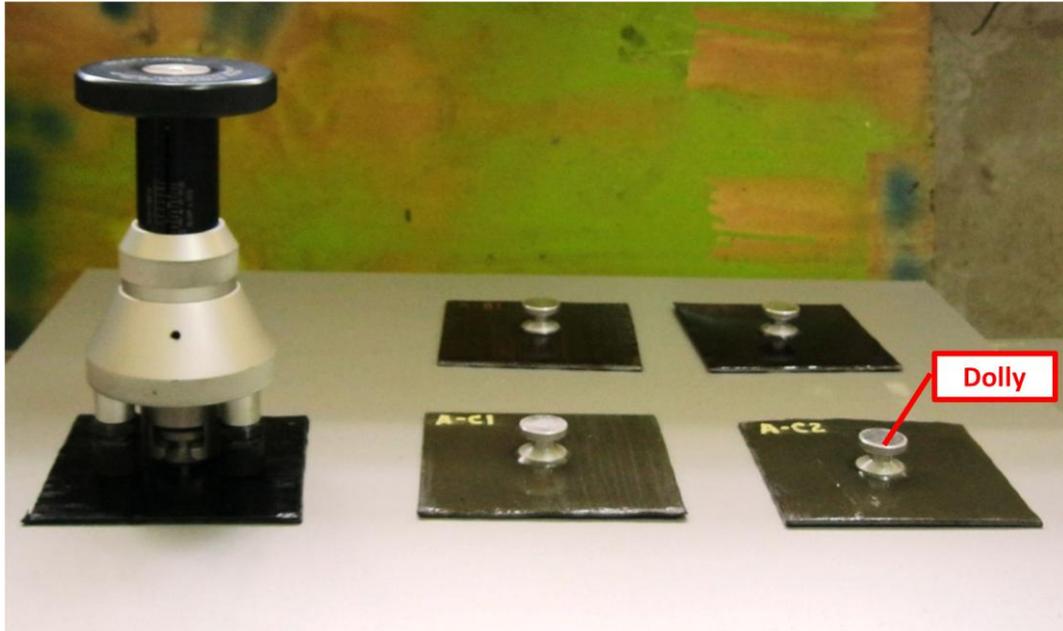
3.3.7. Uji Adhesi

Uji adesi dilakukan untuk mengetahui daya lekat lapisan organik pada permukaan sampel uji. Standar yang digunakan untuk uji adesi ialah ASTM D 4541-85, dimana pengujiannya dinamakan *Pull-Off Test*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium kimia B4T Bandung.



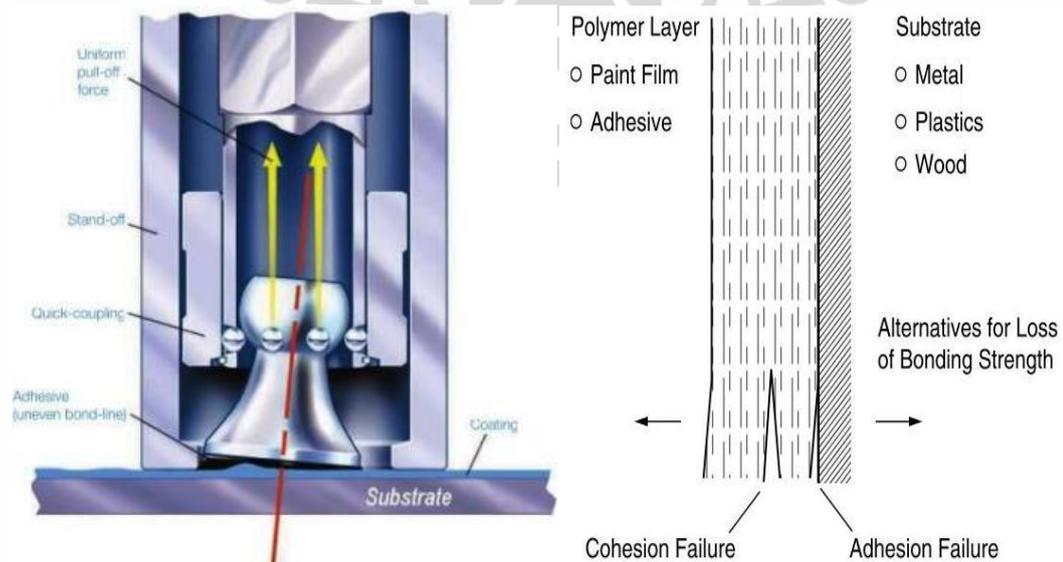
Gambar 3.9 Pengaruh external pada interface antara lapisan film dan *substrat*

Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini ialah *Elcometer Model 106/2 Adhesion Tester Scale 0-7Mpa*, di mana beban tarik (*tensile strength*) maksimalnya ialah sebesar 3,5 N/mm². Peralatan ini terdiri dari *dolly* dengan diameter 1 inch dan *loading fixture*.



Gambar 3.10 Elcometer Model 106/2 Adhesion Tester Scale 0-7Mpa

Prosedur pengujian adesi dimulai dengan menempelkan permukaan lapisan organik dengan *dolly* dengan menggunakan adesif. Setelah diberikan adesif, maka sampel uji didiamkan selama 24 jam agar adesif mengering. Setelah 24 jam, sampel uji lalu diletakkan pada *loading fixture* untuk diberikan beban hingga lapisan film terlepas dari *substrat* baja. Data yang diambil dari uji adesi ini ialah besarnya beban yang membuat lapisan *organic* lepas dari *substrat* baja.



Gambar 3.11. (a) Schematik Pull-off test, (b) Jenis failure pada Pull-off test

4. DATA HASIL PENGUJIAN

Sebelum melakukan penelitian, untuk mendapatkan komposisi dari nilai semi transparan, maka dilakukan system pencampuran antara *coating* hitam dan bening dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1 Hasil *Test* Transparansi pencampuran *coating* secara visual

	Bituminous (A Black)				
	5%	10%	15%	20%	25%
C (<i>Clear</i>) 100%	G	G	G	G	NG
Result (B <i>Semi clear</i>)				G	

Secara visual, komposisi pencampuran antara *coating black* dan *coating clear* untuk mendapatkan nilai transparansi yang cukup bagus adalah 1:5, seperti pada Tabel 4.1 diatas. Selanjutnya hasil dari pencampuran ini dijadikan sebagai *coating semi clear* (Sampel B1 dan B2).

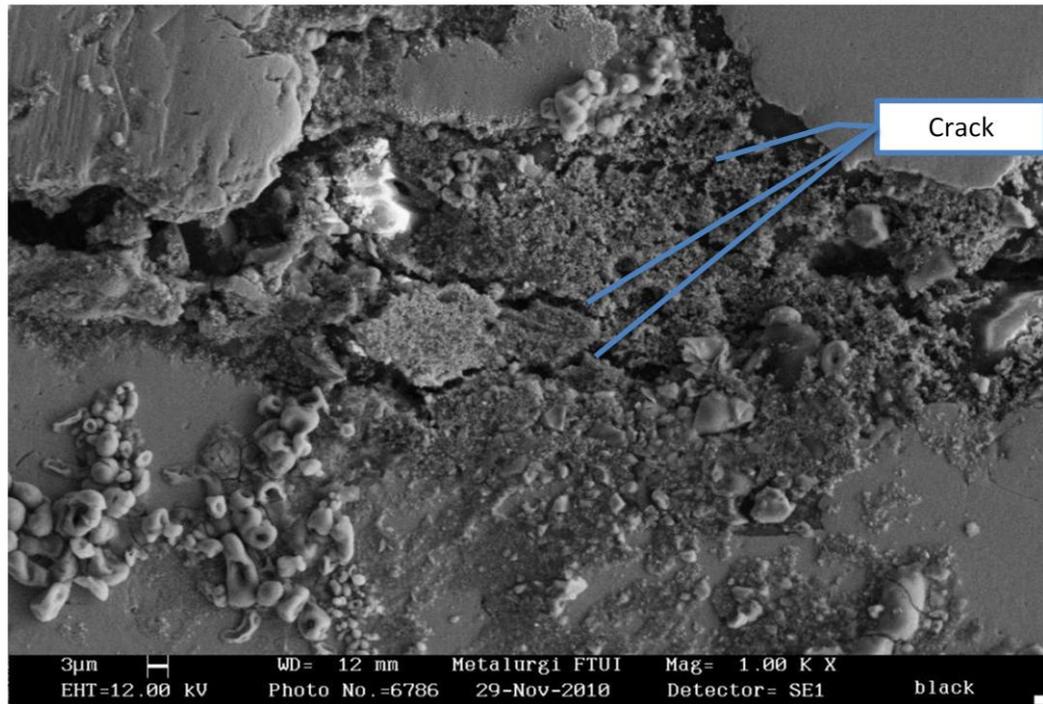
4.1. Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM

Pengamatan strukur mikro lapisan dilakukan untuk melihat penyebaran dan besarnya pori, bentuk ikatan *coating* dengan *substrat* baja. Prinsip alat ini adalah dengan menggunakan elektron yang ditembakkan pada sampel. Hamburan elektron dari hasil tumbukan dengan sampel akan ditangkap oleh detektor – detektor pada SEM yang kemudian dapat menghasilkan gambar mikrostruktur pada monitor. Standar pengujian yang digunakan adalah ASTM E 3-95.

Pengamatan ditujukan langsung ke daerah yang sudah terindikasi porinya, indikasi pori ditentukan dengan menggunakan indikator kurva pada daerah kountur dan kemudian dilakukan pembesaran didaerah tersebut untuk mendapatkan bentuk dan ukuran pori.

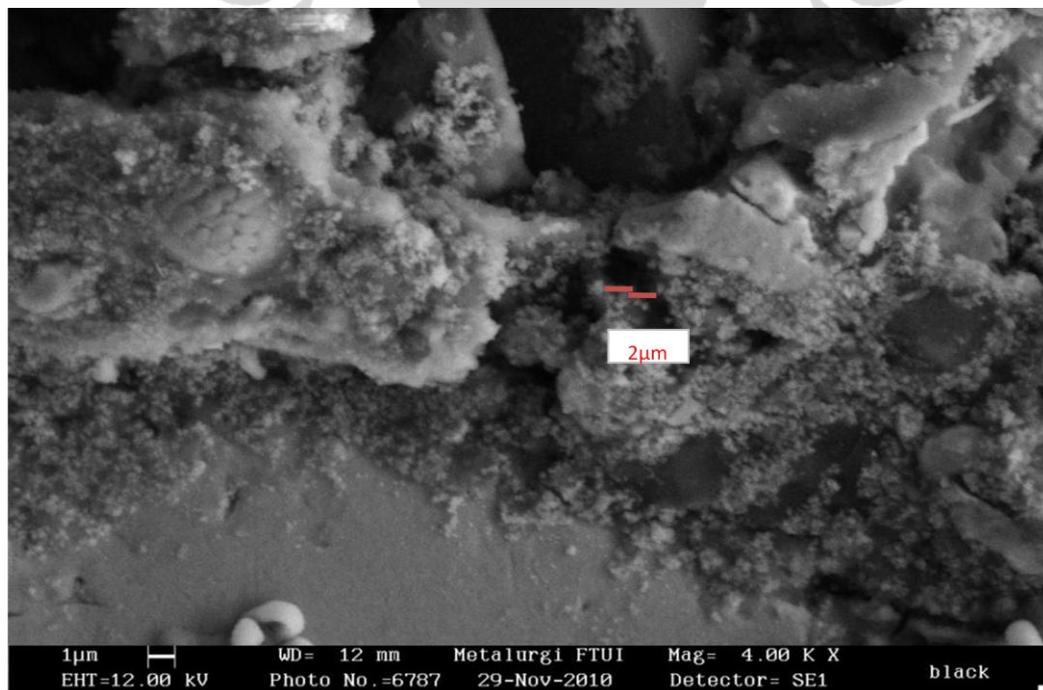
4.1.1. Data pengamatan struktur mikro *coating Black* (Sampel A dengan DFT 50 μ m)

Gambar 4.1 dibawah terlihat adanya retak (*crack*) secara memanjang, dan juga adanya gap antara *coating* dengan *substrat* pada lapisan *coating black*.



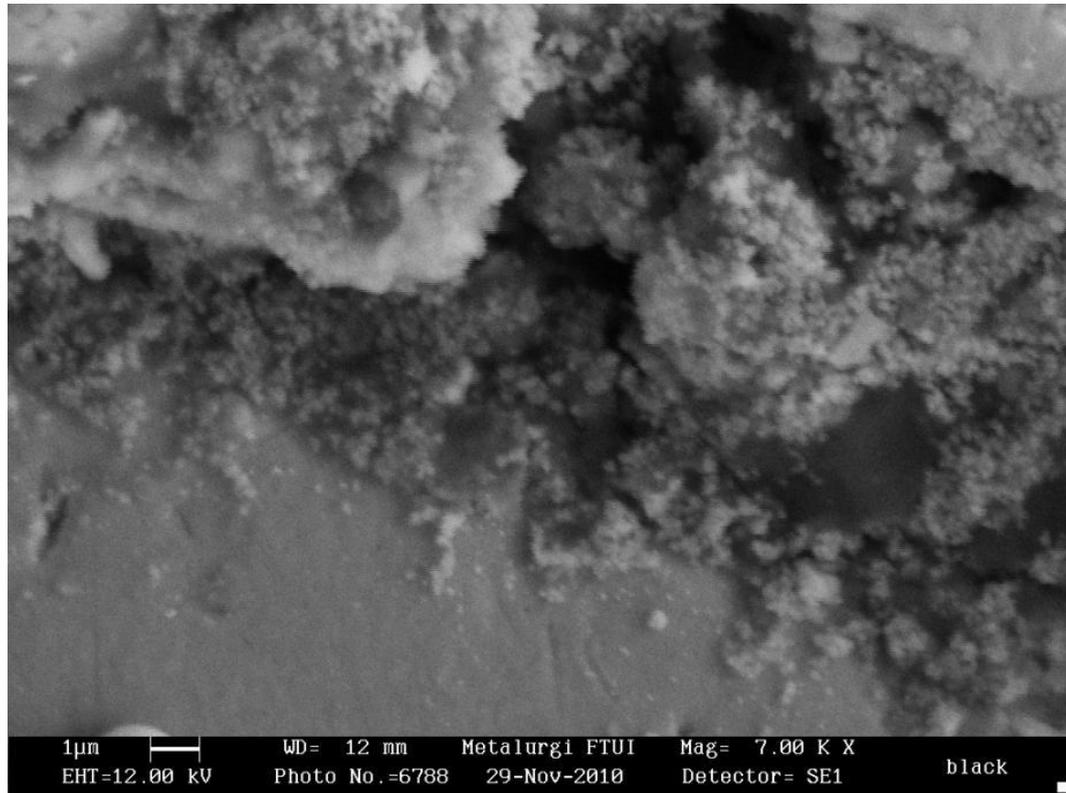
Gambar 4.1 Pengamatan SEM *Coating Black* (Sampel A) pada pembesaran 1000x

Gambar 4.2 terlihat besarnya pori pada *coating black* (sampel A), dengan pembesaran 4000x, adalah sekitar 2µm. Pori-pori ini berukuran sangat kecil dan terkonsentrasi di sekitar daerah *substrat*.



Gambar 4.2 Pengamatan SEM *Coating Black* (Sampel A) pada pembesaran 4000x

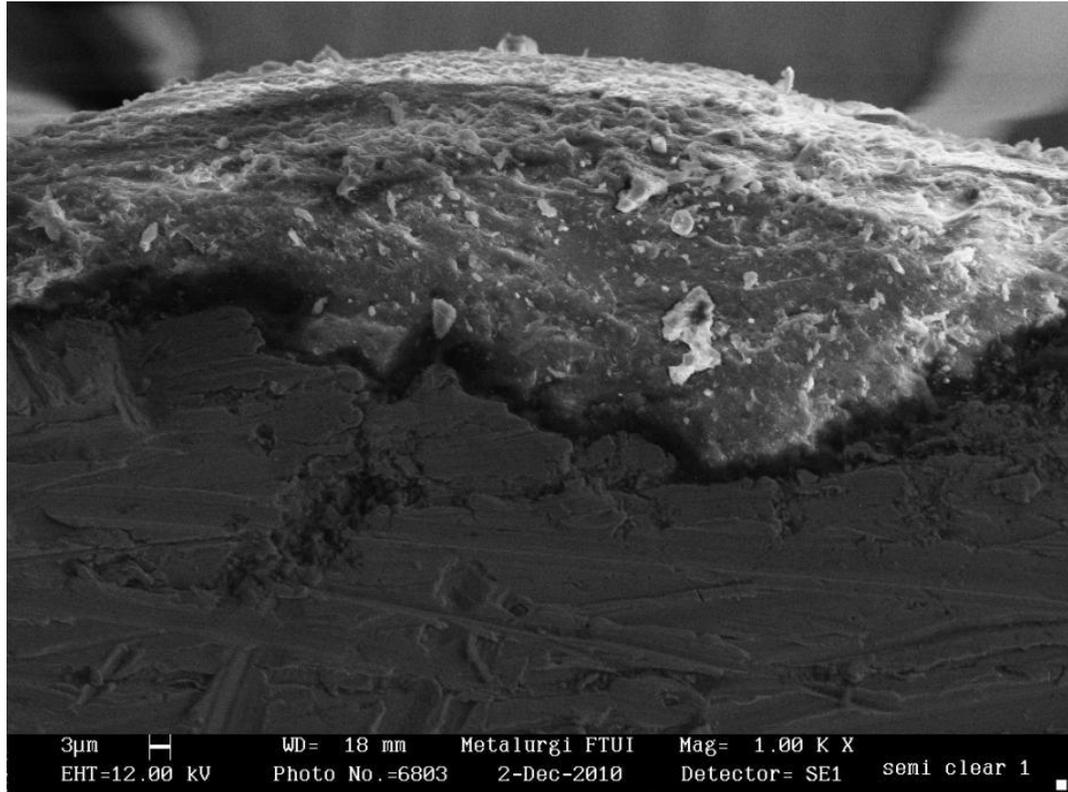
Gambar 4.3 pada pembesaran 7000x, terlihat bentuk kepingan bagian - bagian solid dari *coating*. Diantara kepingan ini terdapat rongga-rongga atau pori. Lapisan *coating* terlihat mengkilap pada luarnya, seperti bongkahan bunga es, namun pada bagian dalamnya agak gelap.



Gambar 4.3 Pengamatan SEM *Coating Black* (Sampel A) pada pembesaran 7000x

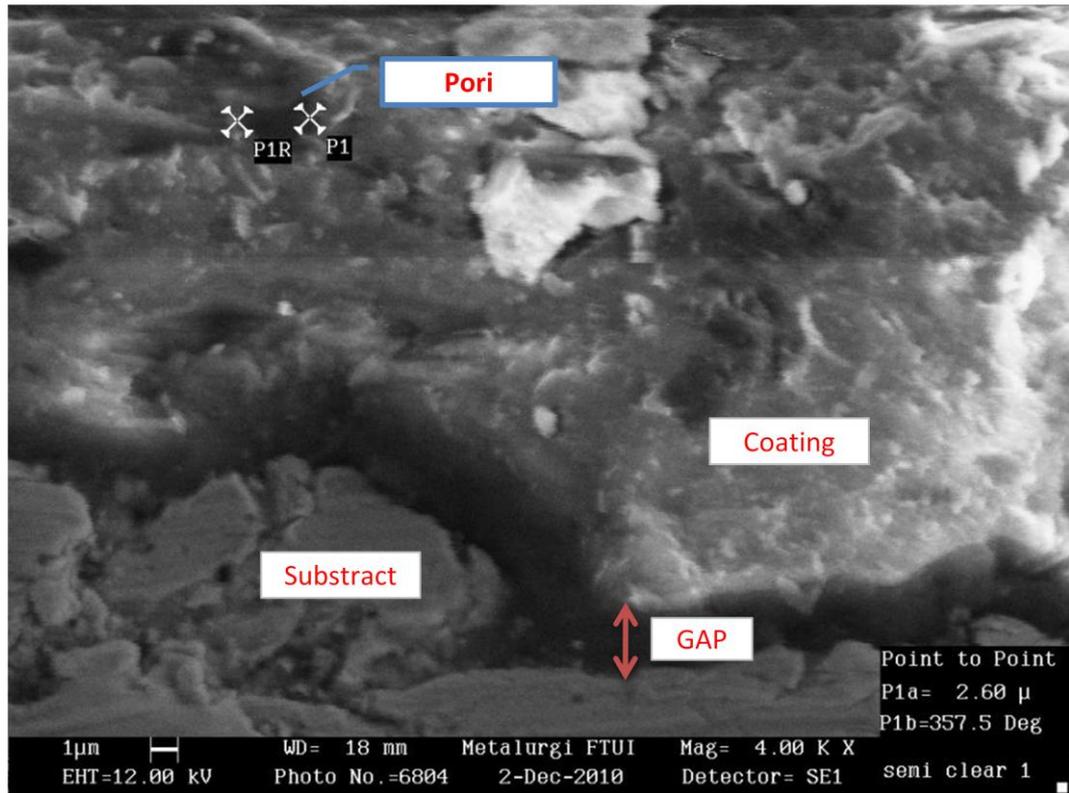
4.1.2. Data pengamatan struktur mikro *coating Semi clear 1* (Sampel B1 dengan DFT 50 μm)

Gambar 4.5 pengamatan mikroskopik pada lapisan *coating semi clear 1* (sampel B1) terbaca ukuran pori adalah 2.6 μm . dan juga terdapat gap yang sangat besar antara *coating* dengan *substrat*. Bentuk lapisan *coating* terlihat lebih sulit dan halus permukaannya.

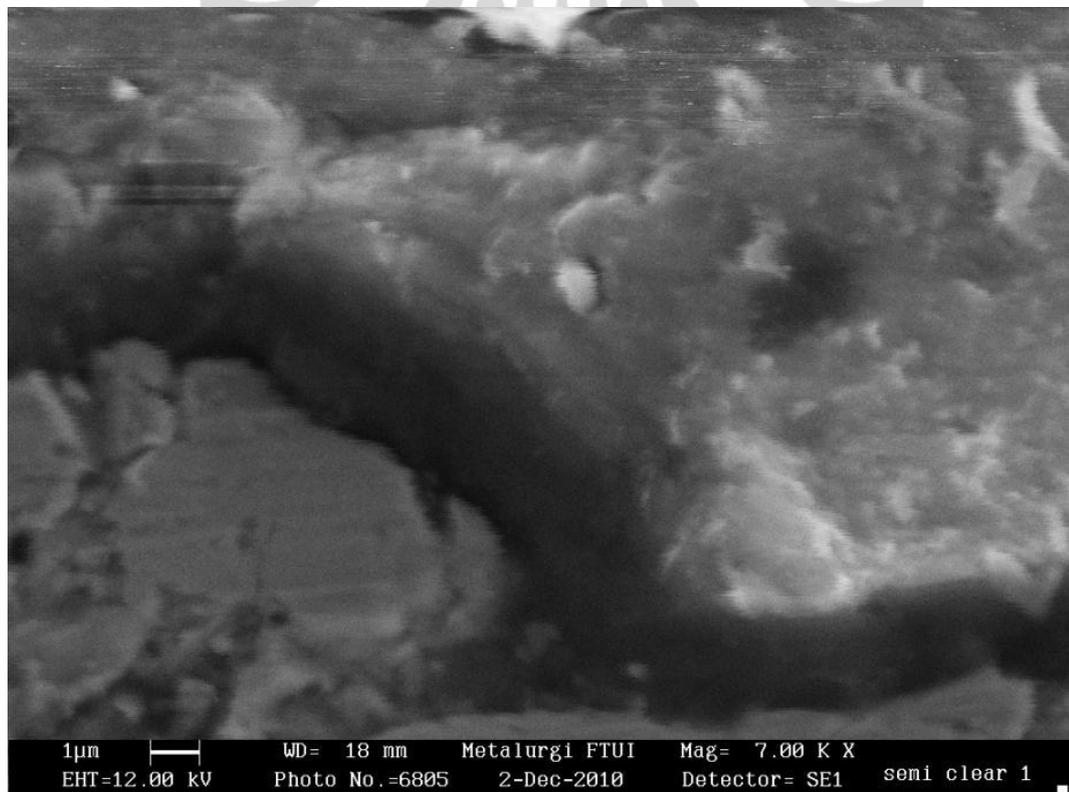


Gambar 4.4 Pengamatan SEM *Coating Semi clear 1* (Sampel B1) pada pembesaran 1000x





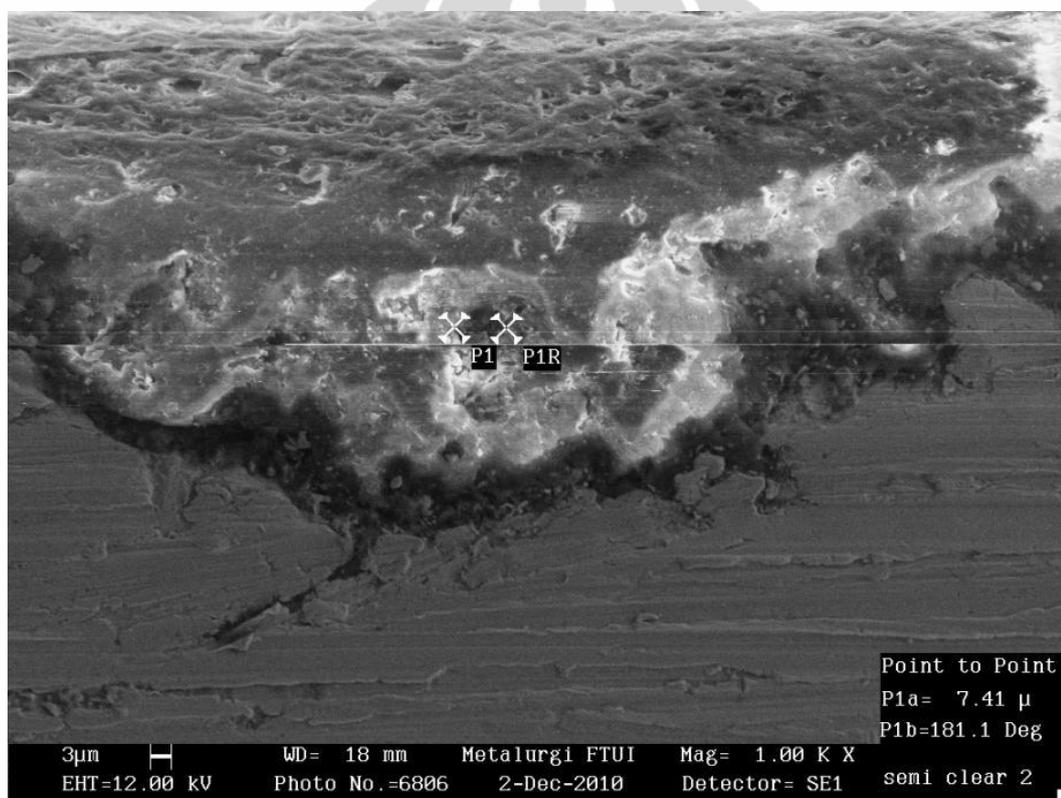
Gambar 4.5 Pengamatan SEM *Coating Semi clear 1* (Sampel B1) pada pembesaran 4000x



Gambar 4.6 Pengamatan SEM *Coating Semi clear 1* (Sampel B1) pada pembesaran 7000x

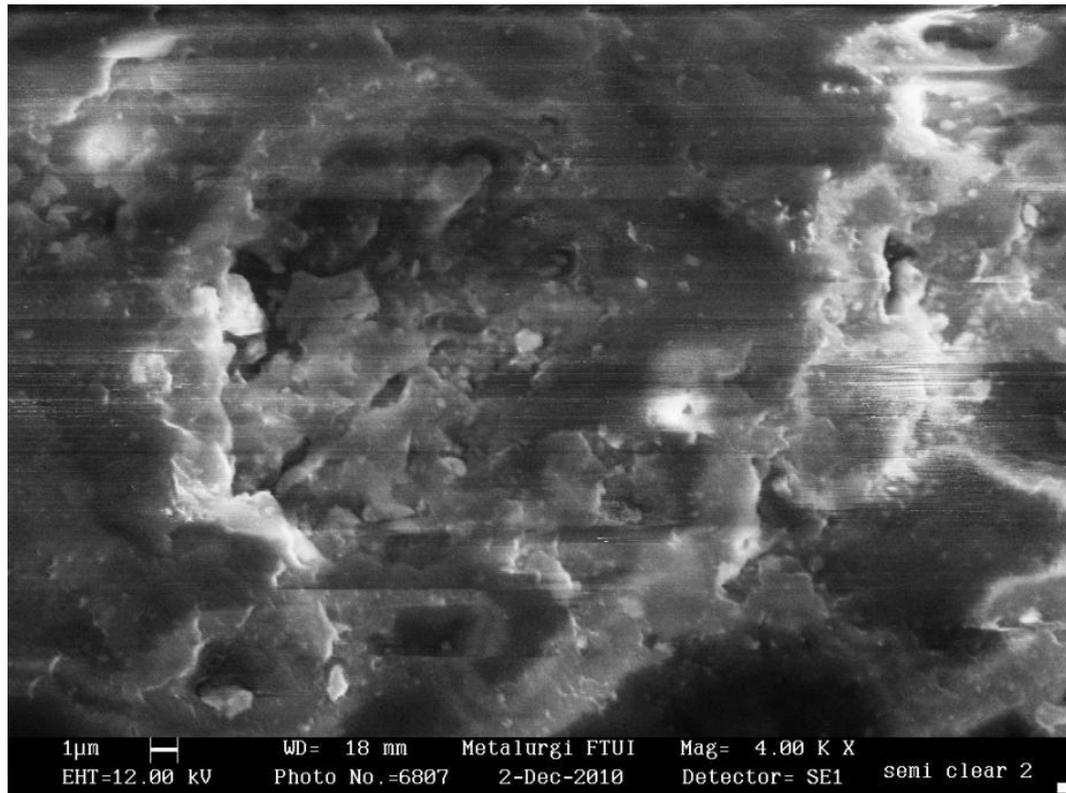
4.1.3. Data pengamatan struktur mikro *coating Semi clear 2* (Sampel B2 dengan DFT 80 μm)

Gambar 4.7 Struktur mikro lapisan *coating semi clear 2* (sampel B2), terlihat ukuran pori adalah 7.41 μm , dan jumlah pori yang terjadi sedikit dan ukuran padatan yang cukup besar, begitu juga dengan gap yang terjadi antara *substrat* dan *coating*, namun tidak ada pori yang memanjang secara horizontal diantara lapisan *coating* seperti pada Gambar 4.1 (sampel A).

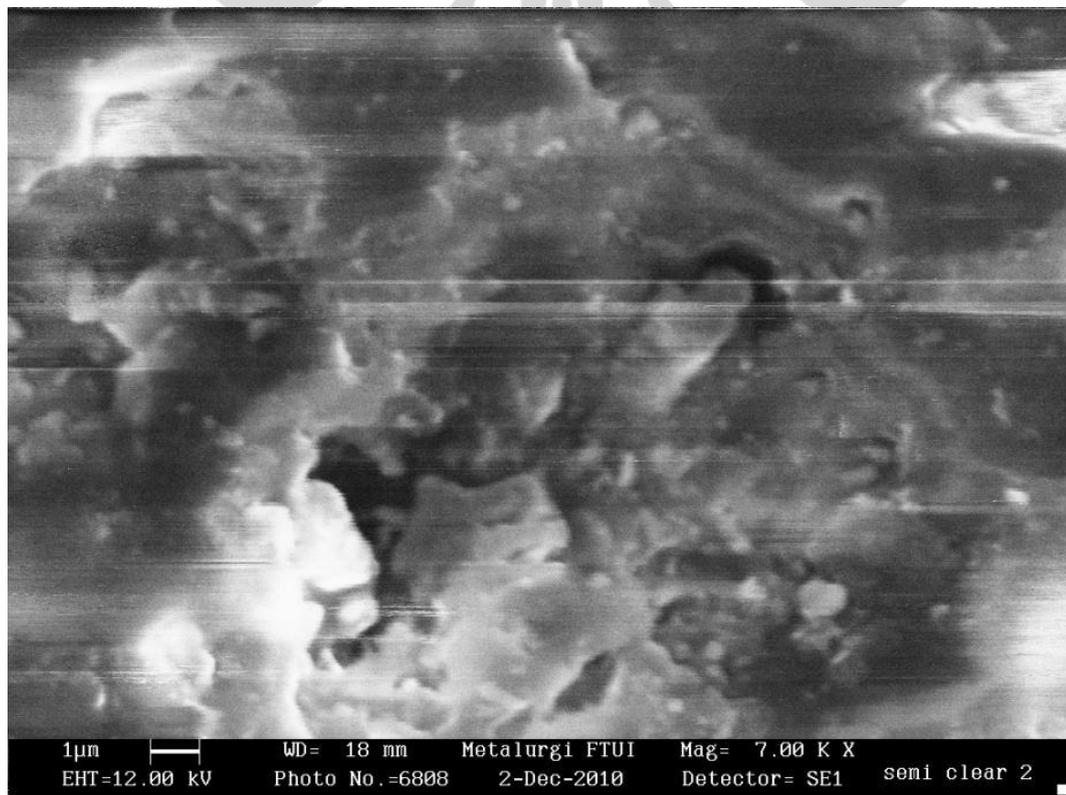


Gambar 4.7 Pengamatan SEM *Coating Semi clear 2* (Sampel B2) pada pembesaran 1000x

Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 adalah pembesaran struktur mikro terhadap bentuk pori pada lapisan *coating semi clear 2* (sampel B2). Terlihat morfologi lapisan *coating* yang cukup solid dengan bentuk seperti lapisan-lapisan kristal.



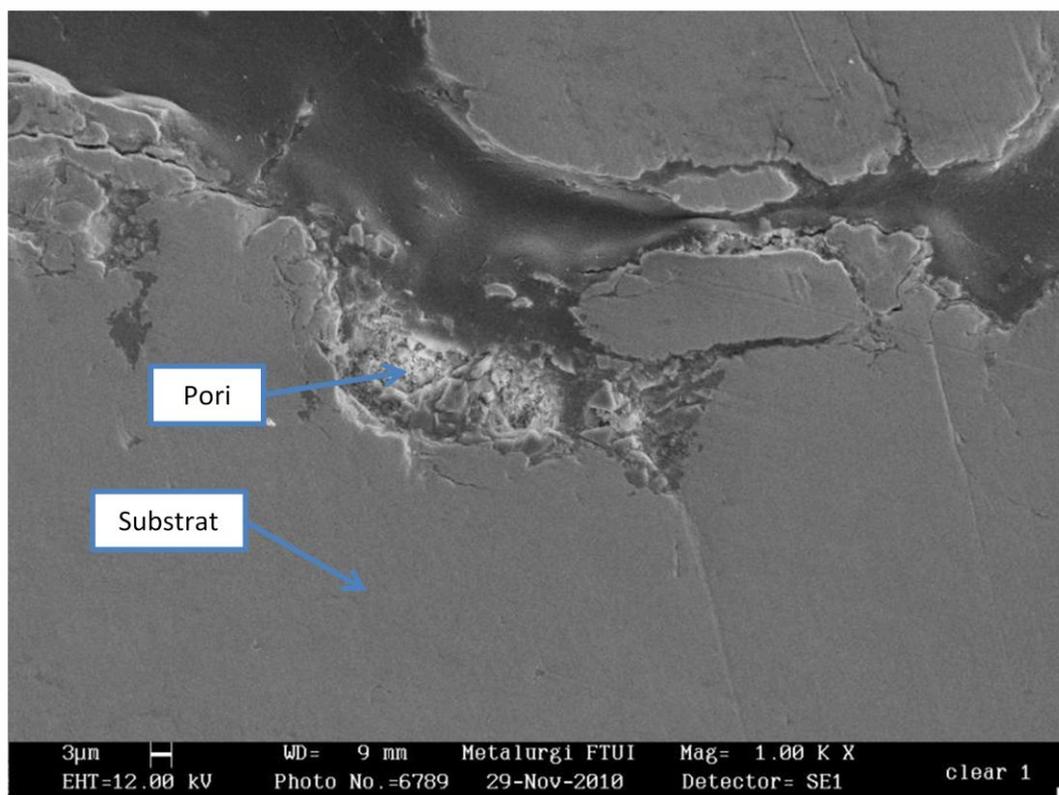
Gambar 4.8 Pengamatan SEM *Coating Semi clear 2* (Sampel B2) pada pembesaran 4000x



Gambar 4.9 Pengamatan SEM *Coating Semi clear 2* (Sampel B2) pada pembesaran 7000x

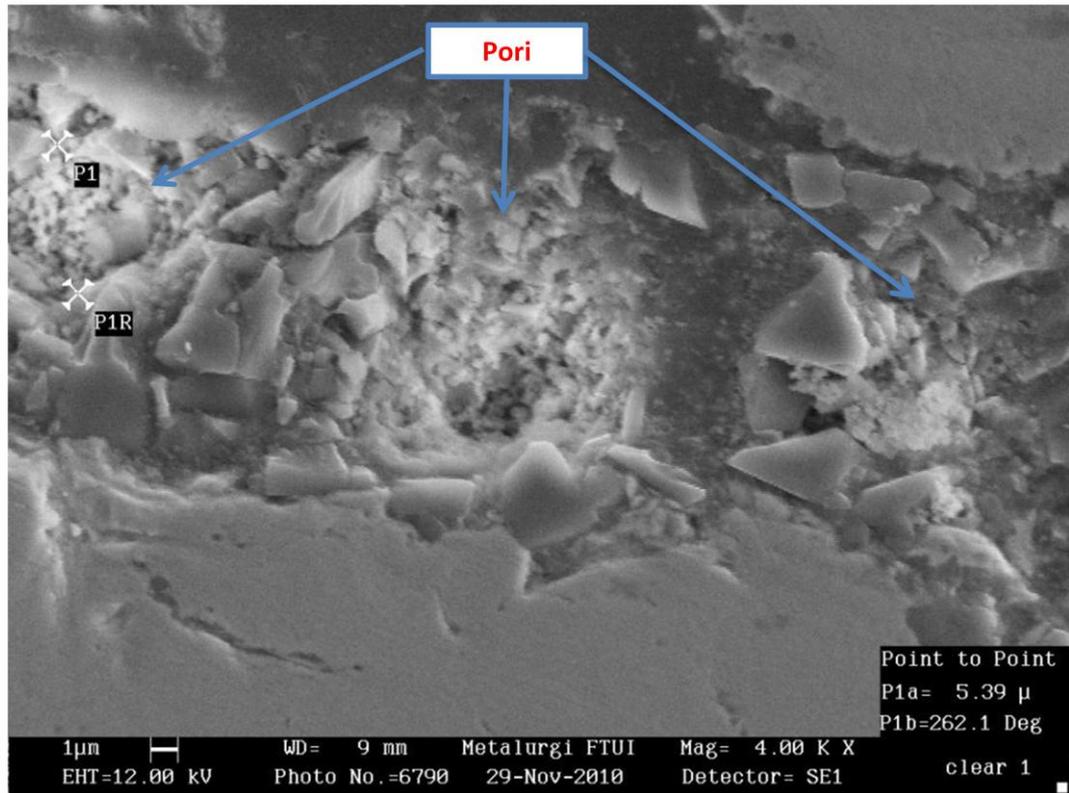
4.1.4. Data pengamatan struktur mikro *coating Clear 1* (Sampel C1 dengan DFT 50 μm)

Gambar 4.11 struktur mikro pada pembesaran 4000x, terlihat bahwa besarnya pori pada lapisan *coating clear 1* (sampel C1) adalah 5.39 μm . Pori yang terjadi cukup rapat dan merata pada beberapa bagian, kebanyakan terdapat pada daerah perbatasan dengan *substrat*. Namun ini hanya terkonsentrasi pada daerah / permukaan yang berbentuk cekung dari logam.

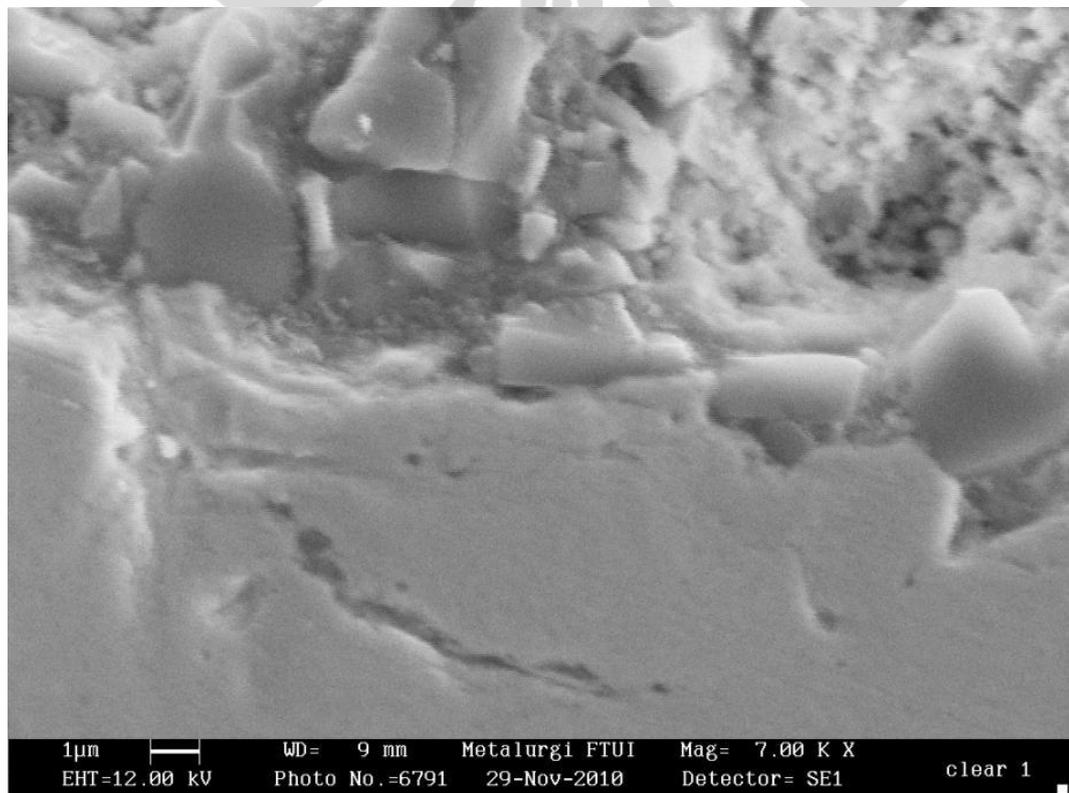


Gambar 4.10 Pengamatan SEM *Coating Clear 1* (Sampel C1) pada pembesaran 1000x

Tidak begitu kelihatan gap yang terjadi antara *substrat* dan lapisan *coating*, dan juga bentuk padatan nya terdiri dari bongkah-bongkahan kristal yang sangat kecil dan bewarna cukup terang.



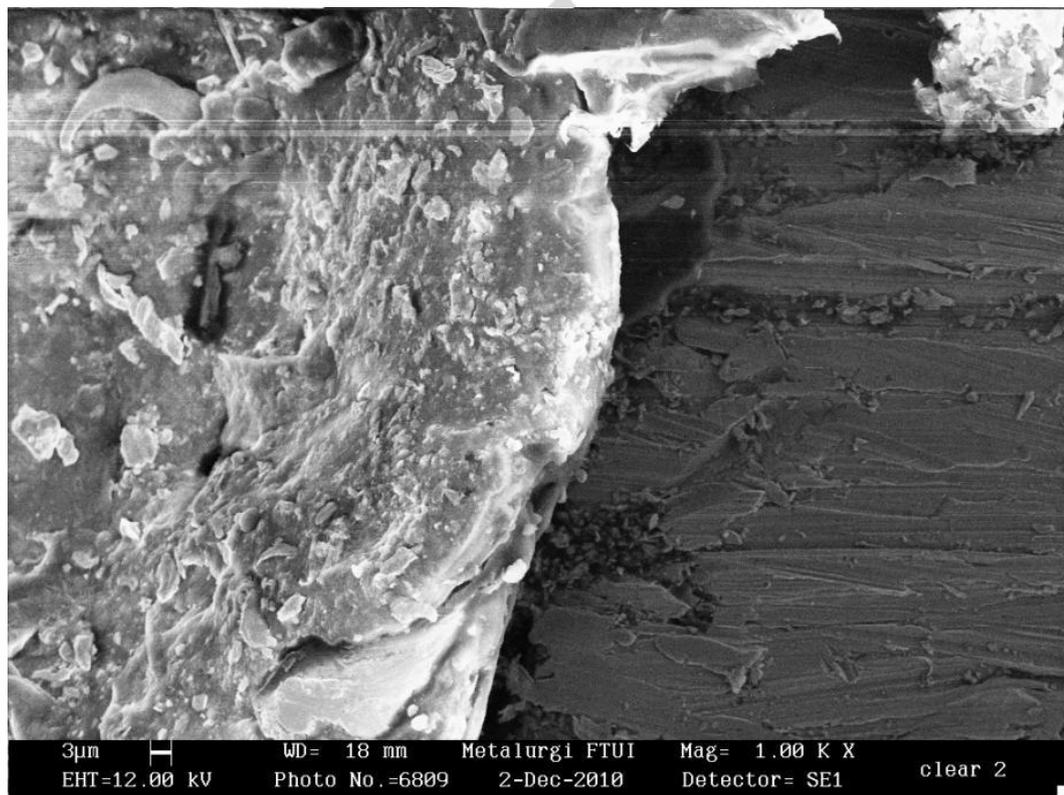
Gambar 4.11 Pengamatan SEM *Coating Clear 1* (Sampel C1) pada pembesaran 4000x



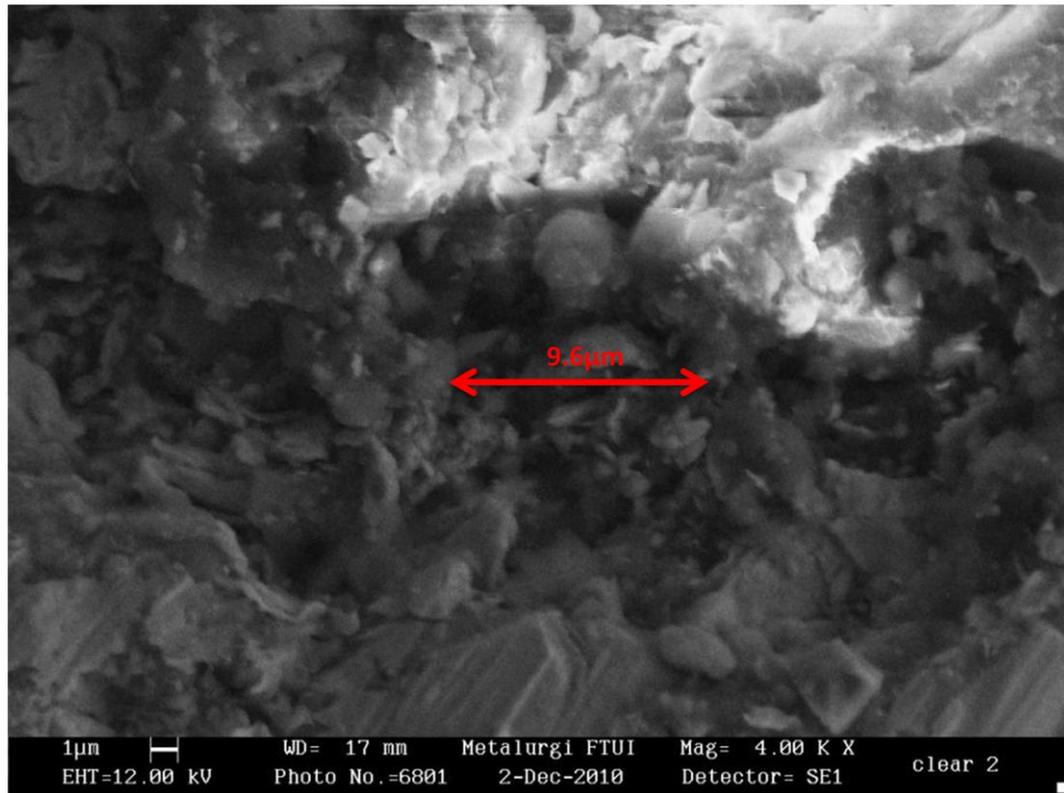
Gambar 4.12 Pengamatan SEM *Coating Clear 1* (Sampel C1) pada pembesaran 7000x

4.1.5. Data pengamatan struktur mikro *coating Clear 2* (Sampel C2 dengan DFT 80 μm)

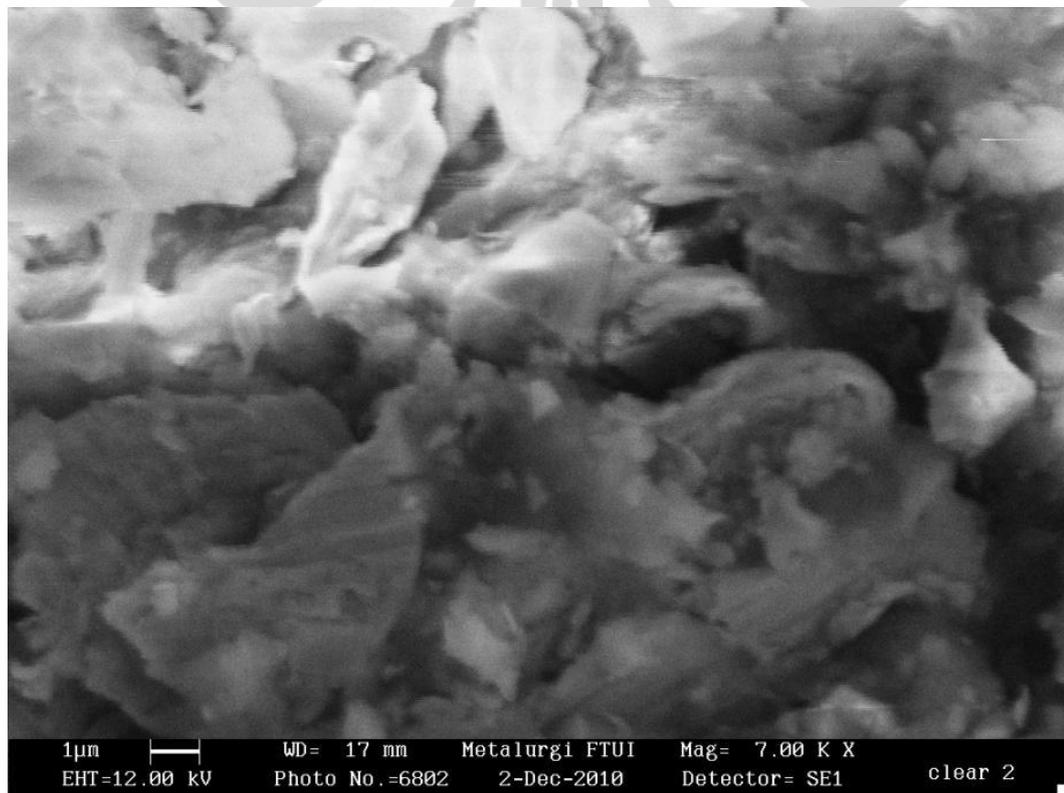
Gambar 4.13 terlihat bagian antara lapisan *coating* dengan *substrat*, *mechanical interlocking* tidak begitu kelihatan namun tidak ada gap yang terjadi. Pada Gambar 4.14 terlihat besarnya pori adalah 9,6 μm , kebanyakan pori teridentifikasi pada bagain interface *coating* dan *substrat*. Gambar 4.15 terlihat morfologi lapisan solid seperti susunan kristal.



Gambar 4.13 Pengamatan SEM *Coating Clear 2* (Sampel C2) pada pembesaran 1000x



Gambar 4.14 Pengamatan SEM *Coating Clear 2* (Sampel C2) pada pembesaran 4000x



Gambar 4.15 Pengamatan SEM *Coating Clear 2* (Sampel C2) pada pembesaran 7000x

4.2. Pengujian Pengaruh *Bituminous* Terhadap Nilai Permeabilitas Uap Air

4.2.1. Data Hasil Pengamatan Permeabilitas *coating* Black (Sampel A dengan DFT 50 μm)

Hasil percobaan permeabilitas terhadap uap air (*water vapor permeability*) tertuang pada table-tabel dibawah berikut berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Permeability Test* terhadap *Coating Black* (sampel A dengan DFT 50 μm)

No	Tanggal	A (56 μm)		Tekanan		Kelembaban, %	Suhu, C
		Berat (W)	ΔW	hPa	mmHg		
		(g)	(g)				
1	27-Oct-10	86.6416		920.0	690.06	60	25.5
2	28-Oct-10	86.4648	0.1768	920.0	690.06	65	26.0
3	29-Oct-10	86.3104	0.3312	920.0	690.06	62	25.5
4	30-Oct-10	86.2689	0.3727	920.0	690.06	65	25.0
5	31-Oct-10	86.1546	0.4870	920.0	690.06	68	25.5
6	1-Nov-10	86.0688	0.5728	920.0	690.06	65	26.5
7	2-Nov-10	86.0521	0.5895	920.0	690.06	60	25.0

4.2.2. Data Hasil Pengamatan Permeabilitas *coating* Semi *clear* (Sampel B1 dan B2 dengan DFT 50 - 80 μm)

Tabel 4.3 Hasil Pengujian *Permeability Test* terhadap *Coating Semi clear* (Sampel B1 dan B2 dengan DFT 50-80 μm)

Hari ke	B1 (60 μm)		B2 (88 μm)		Tekanan		Kelembaban, an, %	Suhu, C
	Berat (W)	ΔW	Berat (W)	ΔW	hPa	mmHg		
	(g)	(g)	(g)	(g)				
1	86.4626		85.7895		920.0	690.06	60	25.5
2	86.3096	0.1530	85.5635	0.2260	920.0	690.06	65	26.0
3	86.0555	0.4071	85.4336	0.3559	920.0	690.06	62	25.5
4	86.0462	0.4164	85.3658	0.4237	920.0	690.06	65	25.0
5	86.0301	0.4325	85.3217	0.4678	920.0	690.06	68	25.5
6	85.9265	0.5361	85.3226	0.4669	920.0	690.06	65	26.5
7	85.9136	0.5490	85.3231	0.4664	920.0	690.06	60	25.0

4.2.3. Data Hasil Pengamatan Permeabilitas *coating Clear* (Sampel C1 dan C2 dengan DFT 50-80 μm)

Tabel 4.4 Hasil Pengujian *Permeability Test* terhadap *Coating Clear* (Sampel C1 dan C2 dengan DFT 50-80 μm)

Har i k e	C1 (57 μm)		C2 (89 μm)		Tekanan		Kelembab an, %	Suhu, C
	Berat (W)	ΔW	Berat (W)	ΔW	hPa	mmHg		
	(g)	(g)	(g)	(g)				
1	89.7967		84.2217		920.0	690.06	60	25.5
2	89.6023	0.1944	84.0125	0.2092	920.0	690.06	65	26.0
3	89.5231	0.2736	83.8821	0.3396	920.0	690.06	62	25.5
4	89.3558	0.4409	83.8725	0.3492	920.0	690.06	65	25.0
5	89.3165	0.4802	83.8712	0.3505	920.0	690.06	68	25.5
6	89.3526	0.4441	83.8712	0.3505	920.0	690.06	65	26.5
7	89.3207	0.4760	83.8812	0.3405	920.0	690.06	60	25.0

4.3. Uji Sembur Garam (*Salt Spray Test*)

4.3.1. Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Black* (Sampel A dengan DFT 50 μm)

Pengujian dilakukan terhadap setiap jenis sample yang terdiri dari 3 ukuran goresan (< 1, 2, dan <3mm), nilai rating penambahan lebar goresan di catat berdasarkan tabel ASTM D1645. Berikut adalah gambar dan tabel hasil pengujian *salt spray* :



Gambar 4.16 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Black* (Sampel A dengan DFT 50 μm)

Tabel 4.5 Hasil Uji Sembur Kabut Garam *coating Black* (Sampel A dengan DFT 50 μ m)

Lama Uji (jam)	Pengamatan	A		
		Goresan < 1mm	Goresan 2 mm	Goresan < 3 mm
0	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
24	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
48	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
72	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
96	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
120	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)

4.3.2. Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Semi clear* 1 (Sampel B1 dengan DFT 50 μ m)

Gambar 4.17 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Semi clear* 1 (Sampel B1 dengan DFT 50 μ m)

Tabel 4.6 Hasil Uji Sembur Kabut Garam *coating Semi clear 1* (Sampel B1 dengan DFT 50 μ m)

Lama Uji (jam)	Pengamatan	B1		
		Goresan < 1mm	Goresan 2 mm	Goresan < 3 mm
0	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
24	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
48	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
72	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
96	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
120	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)

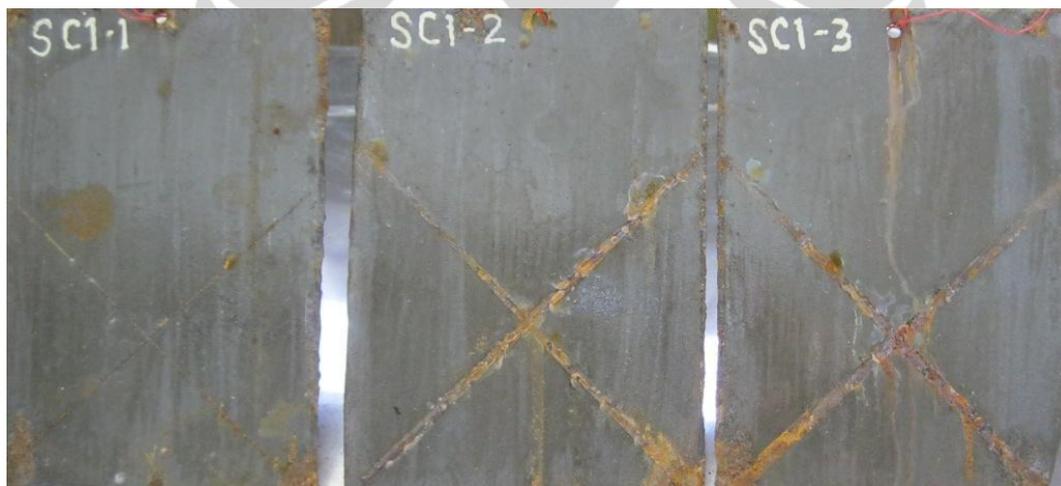
4.3.3. Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Semi clear 2* (Sampel B2 dengan DFT 80 μ m)

Gambar 4.18 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Semi clear 2* (Sampel B2 dengan DFT 80 μ m)

Tabel 4.7 Hasil Uji Sembur Kabut Garam *coating Semi clear 2* (Sampel B2 dengan DFT 80 μ m)

Lama Uji (jam)	Pengamatan	B2		
		Goresan < 1mm	Goresan 2 mm	Goresan < 3 mm
0	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
24	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
48	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
72	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
96	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
120	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)

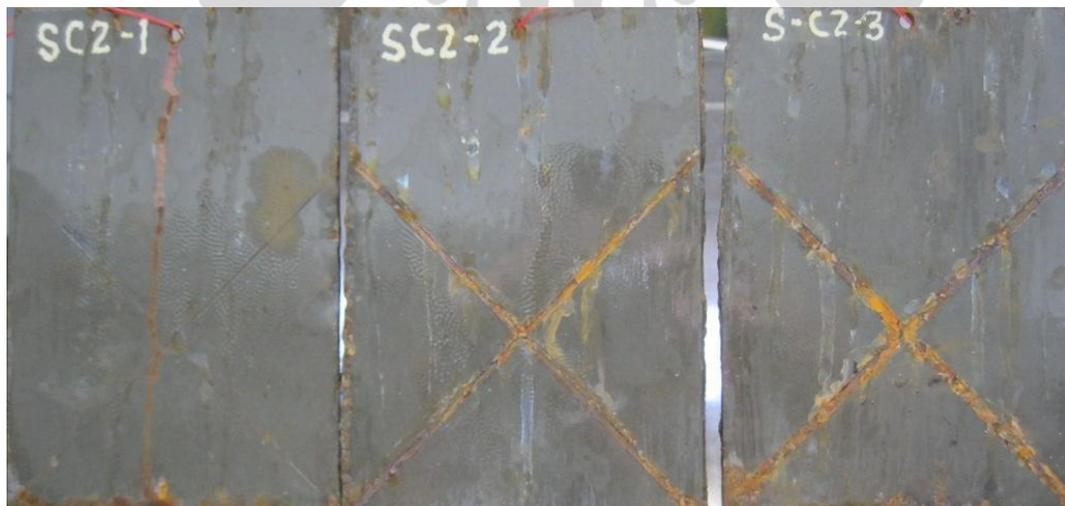
4.3.4. Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Clear 1* (Sampel C1 dengan DFT 50 μ m)

Gambar 4.19 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Clear 1* (Sampel C1 dengan DFT 50 μ m)

Tabel 4.8 Hasil Uji Sembur Kabut Garam *coating Clear 1* (Sampel C1 dengan DFT 50 μ m)

Lama Uji (jam)	Pengamatan	C1		
		Goresan < 1mm	Goresan 2 mm	Goresan < 3 mm
0	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
24	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
48	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
72	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
96	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
120	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)

4.3.5. Data Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Clear 2* (Sampel C2 dengan DFT 80 μ m)

Gambar 4.20 Hasil Pengamatan Uji Sembur Kabut Garam *coating Clear 2* (Sampel C2 dengan DFT 80 μ m)

Tabel 4.9 Hasil Uji Sembur Kabut Garam *coating Clear 2* (Sampel C2 dengan DFT 80 μ m)

Lama Uji (jam)	Pengamatan	C2		
		Goresan < 1mm	Goresan 2 mm	Goresan < 3 mm
0	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
24	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
48	karat (mm)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)	0 (rating No.10)
72	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
96	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)
120	karat (mm)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)	0 - 0,5 (rating No.9)

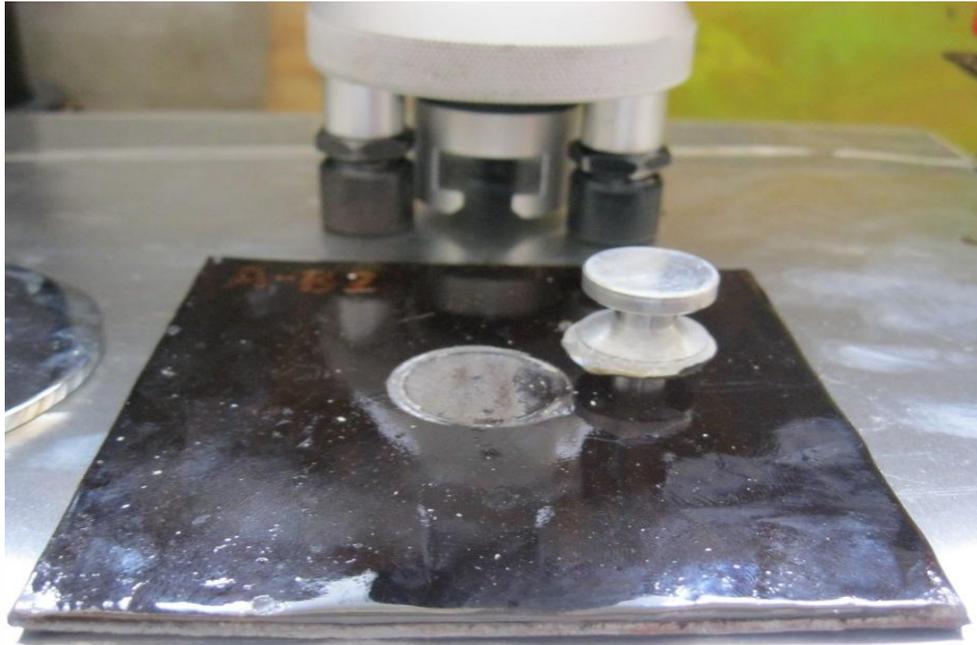
Dari data diatas, terlihat bahwa setelah dilakukan pengujian selama 120 jam, nilai pertambahan lebar goresan berdasarkan rating pada standard ASTM adalah sama yaitu rating 9 atau pertambahan lebar kurang dari 0,5mm dari setiap sampel.

4.4. Data Hasil Uji Adhesi / *Pull Off Test*

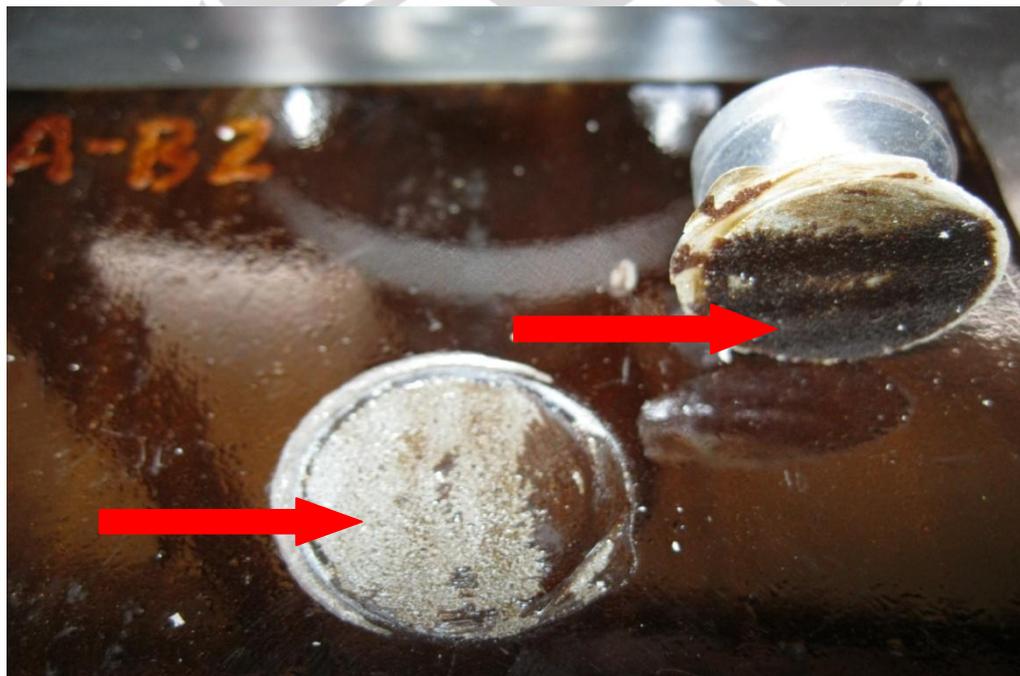
Uji adesi dilakukan untuk mengetahui daya lekat lapisan *organic* pada permukaan sample uji. Standar yang digunakan untuk adesi ialah ASTM D4541-95.

Tabel 4.10 Hasil Uji Adhesi masing-masing Sampel

Code Sample	Transparancy	D.F.T (μ m)	Adhesion , Mpa
A	Black	58.5	1.9
B1	Semi Transparance	36.0	2.2
B2	Semi Transparance	72.8	2.0
C1	Clear	48.5	2.8
C2	Clear	162.0	2.9



Gambar 4.21 Hasil uji adhesi terhadap sampel *Semi clear B2*



Gambar 4.22 Bentuk failure dari uji adhesi pada sampel *semi clear 2* (sampel B2)

5. PEMBAHASAN

5.1. Pembahasan Hasil Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM

Secara keseluruhan, besarnya pori pada masing-masing lapisan temporary organic coating tercantum pada Tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1 Ukuran Pori pada masing-masing sampel temporary organic coating

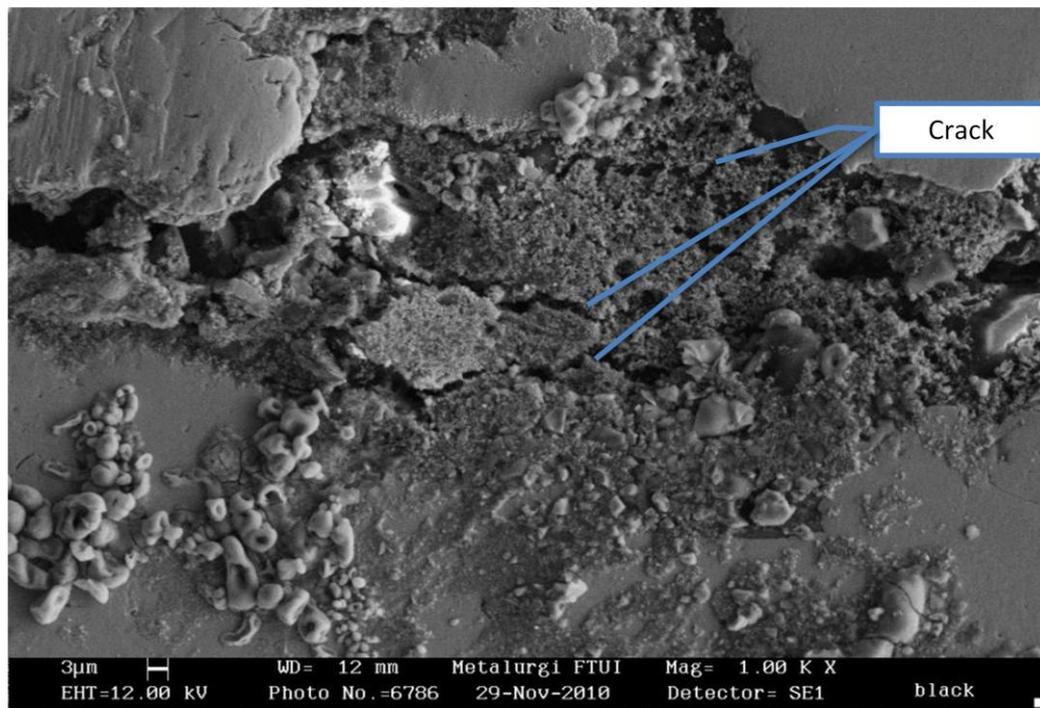
Code Sampel	Warna	D.F.T (μm)	Pori Diameter (μm)
A	Black	50	2
B1	Semi Transparance	50	2.6
B2	Semi Transparance	80	7.41
C1	Clear	50	5.39
C2	Clear	80	9.6

5.1.1. Pembahasan struktur mikro coating Black (Sampel A dengan DFT 50 μm)

Gambar 5.1 struktur mikro lapisan coating black (Sampel A) menunjukkan bahwa pori-pori yang menyerupai retakan (*crack*) yang berbentuk lintasan garis secara *horizontal* (sejajar dengan permukaan), dan berlapis lapis, mulai sepanjang kontak dengan *substrat* serta diantara lapisan – lapisan coating yang mungkin terbentuk saat peng-aplikasikan dengan *brushing*, sehingga bisa diasumsikan bahwa terbentuknya pori disini karena ketidaksempurnaan dari *mechanical bonding* antara *substrat* dan *coating*, serta kegagalan kohesi antara lapisan coating. Secara teori, *bituminous* membuat coating lebih flexible ^[14]. Sehingga kemungkinan terbentuknya crack ini dari akibat proses persiapan untuk SEM (*mounting*) dan pemotongan sangat kecil.

Kemungkinan besar retakan ini terjadi ketika coating mengalami *curing*, mengalami penyusutan (*shrinkage*). Penyusutan ini terjadi karena adanya penguapan *solvent* dan/atau pembentukan *cross linking* polimer. Apabila dilihat dalam skala atomik, maka jarak antar atom setelah *cross linking* menjadi lebih pendek daripada sebelumnya. Faktor perubahan jarak atom inilah yang

menyebabkan polimer mengalami penyusutan dalam usaha untuk menurunkan energi internal.



Gambar 5.1 Struktur Mikro *Coating Black* (Sampel A) pada pembesaran 1000x

Pada tahap awal evaporasi solven dan/atau cross linking, temperatur transisi gelas (T_g) polimer berada di bawah temperatur kamar sehingga pada temperatur kamar ini rantai polimer mempunyai cukup mobilitas untuk mengalami penyusutan. Akan tetapi seiring berjalannya waktu, nilai T_g akan semakin besar sehingga rantai polimer akan mengalami penurunan mobilitas^[9]. Akibatnya muncul stress internal dari ketidakmampuan *coating* untuk mengalami penyusutan selanjutnya. Jadi bukan penyusutan yang menyebabkan stress, namun justru karena tidak mampu mengalami penyusutan lagi maka *coating* mengalami stress.

Besarnya pori yang teridentifikasi pada lapisan *coating black* (sampel A) adalah sekitar $2\mu\text{m}$ (Gambar 4.2), pori-pori ini kemungkinan terbentuk dari penguapan *solvent* yang terperangkap selama proses *curing*. Bagian yang padat terlihat cukup dominan dan besar dibanding bagian yang berongga, kemungkinan besar bagian ini merupakan unsur *bituminous* dan *alkyd resin*. Bentuk padatan yang tersusun dari butiran-butiran berbentuk bulat. Dan dipinggiran terkelilingi serbuk-serbuk halus berwarna terang. Kemungkinan struktur mikro dari jenis *coating black* ini

adalah partikel *bituminous* yang dikelilingi oleh alkid resin. kerapatan solid ini membantu dalam hal menahan laju air.

5.1.2. Pembahasan struktur mikro *coating* Semi clear 1 (Sampel B1 dengan DFT 50 μm)

Pengamatan mikroskopik pada lapisan *coating semi clear* 1 (sampel B1 dengan DFT 50 μm) terbaca ukuran pori adalah 2.6 μm (Gambar 4.5) ukuran ini lebih besar dari pada *coating black* (sampel A), tidak terlalu banyak pori yang terjadi dan juga kerapatan solidnya cukup tinggi, pada gambar juga kelihatan gap yang cukup besar antara *substrat* dan *coating*, gap ini menggambarkan ikatan *mechanical interlocking* yang kurang sempurna antara *coating* dan *substrat*. Sementara ikatan kohesi antara *coatingnya* cukup bagus. Secara bentuk morfologinya, padatan *coating* ini kelihatan halus dan lebih terang, seperti bongkahan kristal. Kemungkinan ini terjadi karena kandungan *alkyd resin* yang cukup dominan, menutupi atau melarutkan kandungan *bituminous* sehingga warna dari *coating* ini menjadi transparan tapi agak kecoklatan.

5.1.3. Pembahasan struktur mikro *coating* Semi clear 2 (Sampel B2 dengan DFT 80 μm)

Gambar 4.7 Struktur mikro lapisan *coating semi clear* 2 (sampel B2 dengan DFT 80 μm), terlihat ukuran pori adalah 7.41 μm , jumlah pori yang terjadi sedikit dan ukuran padatan yang cukup besar, jika dibandingkan dengan *coating semi clear* 1 (sampel B1 dengan DFT 50 μm). ukuran pori yang terbentuk cukup lebih besar, kemungkinan yang terjadi adalah proses penguapan dari *solvent* yang tidak merata dan terlalu cepat, seperti di ulas pada teori, pelarut *aliphatic hydrocarbon* mempunyai kecepatan penguapan yang tinggi (seperti bensin), sehingga bagian yang bersentuhan dengan udara mengalami pengeringan yang cepat dan bagian pelarut yang dibawah terperangkap dan tidak menguap secara sempurna karena lapisan yang terlalu tebal sehingga meninggalkan jejak berupa pori yang tidak teratur dan menurunkan performa *coating*.

Gap yang terjadi sepanjang interface dengan *substrat* juga kelihatan cukup besar. hal ini dikarenakan ikatan *mechanical* antara *substrat* dengan *coating* tidak begitu sempurna. Kemungkinan unsure-unsure yang ada pada *temporay coating*

mempunyai gaya kohesi yang kuat dibanding gaya adesinya. Bentuk morfologi dari padatan *coating* hampir sama dengan sampel B1, dimana bentuk Kristal terang agak gelap, namun tidak teratur (Gambar 4.9).

5.1.4. Pembahasan struktur mikro *coating Clear 1* (Sampel C1 dengan DFT 50 μm)

Gambar 4.11 struktur mikro pada pembesaran 4000x, terlihat bahwa besarnya pori pada lapisan *coating clear 1* (sampel C1) adalah 5.39 μm . Pori yang terjadi cukup rapat dan merata pada beberapa bagian, kebanyakan terdapat pada daerah perbatasan dengan *substrat*. Namun ini hanya terkonsentrasi pada daerah / permukaan yang berbentuk cekung dari logam. *Coating* ini tidak mengandung *bituminous*. Sehingga secara teori, padatan solidnya adalah unsure *alkyd resin*. Tingginya konsentrasi pelarut menyebabkan *coating* mempunyai kemampuan menjelahi setiap celah pada permukaan *substrat*. Sehingga cenderung mempunyai daya adesi yang kuat dan gap yang kecil antara *substrat* dan *coating*. Namun pada bagian yang cekung terbentuknya pori hampir sama pada pembahasan sampel B2 diatas, masih adanya pelarut yang terjebak dalam proses penguapannya walaupun dalam skala yang lebih kecil.

Secara bentuk morfologi padatan *coatingnya* (Gambar 4.12), terlihat bahwa bentuk nya seperti bongkaha balok es yang sangat kecil, saling independen satu sama lain. Lapisan ini cukup terang, karena secara actual warna *coating* ini transparan.

5.1.5. Pembahasan struktur mikro *coating Clear 2* (Sampel C2 dengan DFT 80 μm)

Gambar 4.13 mikro struktur *Coating Clear 2* (Sampel C2) pada pembesaran 1000x, terlihat bagian antara lapisan *coating* dengan *substrat*, *mechanical interlocking* tidak begitu kelihatan namun tidak ada gap yang terjadi secara signifikan, dikarenakan unsur pelarut yang sangat tinggi dari *coating* ini sehingga mampu mengisi rongga-rongga yang ada pada permukaan *substrat*.

Pada Gambar 4.14 terlihat besarnya pori adalah 9,6 μm , kebanyakan pori teridentifikasi pada bagian interface *coating* dan *substrat*. Ukuran porinya lebih

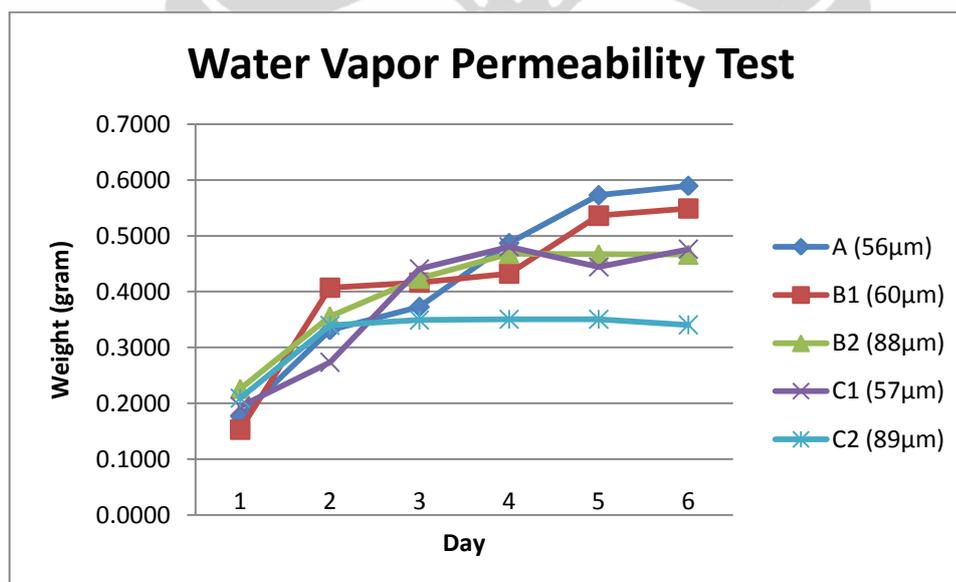
besar dari pada sampel C1 yang memiliki DFT lebih tipis. Seperti pada penjelasan pada sampel B2, bahwa hal ini terjadi karena laju unsure pelarut yang cukup tinggi sehingga bagian didalam agak susah melewati bagian luar yang sudah duluan kering dan meninggalkan jejak yang menjadi ukuran pori lebih besar.

Gambar 4.15 terlihat morfologi lapisan solid seperti bongkahan kristal kecil, terpisah-pisah dan bewarna cukup terang, karena *coating* ini tidak memiliki kandungan *bituminous*.

5.2. Pembahasan Pengaruh *Bituminous* Terhadap Nilai Permeabilitas Uap Air

Dari data Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan

Tabel 4.4 pada BAB 4, dapat di buat grafik pertambahan nilai resap terhadap air dan dari masing-masing sampel sebagai berikut:



Gambar 5.2 Pertambahan berat hasil pengujian *water vapor permeability* masing-masing sampel

Gambar 5.2 diatas menjelaskan kemampuan menyerap airnya semakin menurun dari hari- kehari, meningkatnya berat sampel dan kemudian konstan menunjukkan *coating* sudah mulai jenuh oleh uap air dan tidak menyerap air lagi, dalam artian lapisan ini tidak mampu lagi menahan air dan laju uap diteruskan. Pada Gambar 5.3 menunjukkan nilai total kemampuan maksimum masing-masing *coating* dalam meresap air. Terlihat bahwa lapisan *coating clear 2* (sampel C2 dengan DFT 80µm) sudah mengalami jenuh pada hari kedua, kemudian diikuti

lapisan *coating clear* 1 (sampel C1 dengan DFT 50 μ m) pada hari ketiga, seterusnya lapisan *coating semi clear* 2 (sampel B2 dengan DFT 80 μ m) pada hari ke-empat, dan lapisan *coating clear* 1 (sampel C1 dengan DFT 50 μ m) pada hari ke-lima, dan terakhir lapisan *coating black* (sampel A dengan DFT 50 μ m) setelah hari ke-enam. Jenuhnya lapisan *coating* oleh penambahan berat air menunjukkan bahwa pori-pori dari lapisan *coating* telah terisi penuh oleh air. Untuk initial waktu mulai jenuh nya uap air tertuang pada Tabel 5.2 berikut:

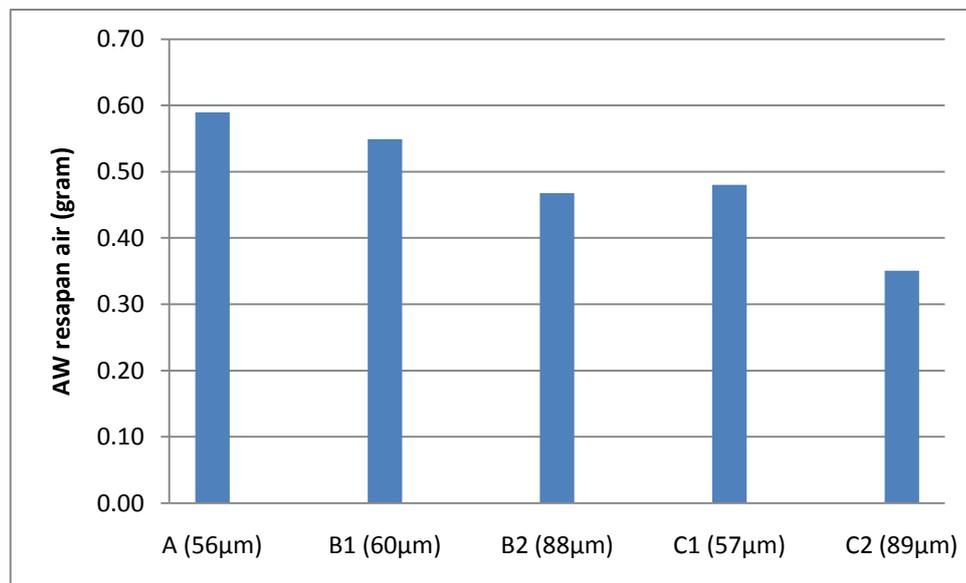
Tabel 5.2 Titik Jenuh resapan uap air pada *Water vapor permeability Test*

Code Sampel	Warna	D.F.T (μ m)	Titik Jenuh (day)
A	<i>Black</i>	50	>6
B1	Semi Transparance	50	5
B2	Semi Transparance	80	4
C1	<i>Clear</i>	50	3
C2	<i>Clear</i>	80	2

Dari segi warna atau kandungan *bituminous* dapat diambil analisa bahwa pengaruh *bituminous* pada *coating* meningkatkan waktu untuk air menuju nilai jenuh terhadap lapisan *coating*. Sampel A (*Black coating*) dengan konsentrasi *bituminous* yang tinggi mengalami waktu yang paling lama untuk menuju titik jenuhnya atau dalam kata lain mempunyai kemampuan yang lebih lama untuk dilewati oleh air.

Yang menarik disini adalah pengaruh resapan air terhadap ketebalan lapisan film terlihat pada sampel yang memiliki warna sama dimana pada lapisan *coating semi clear* 1 (sampel B1, DFT 60 μ m) mengalami titik jenuh yang lebih lama dibandingkan dengan lapisan *coating semi clear* 2 (sampel B2, DFT 88 μ m), begitu juga dengan lapisan *coating clear* 1 (sampel C1, DFT 57 μ m) dan lapisan *coating clear* 2 (sampel C2, DFT 89 μ m), dalam artian DFT yang lebih tipis pada lapisan *semi clear* dan *clear* mempunyai kemampuan yang lebih bagus dalam hal menahan laju air. Hal ini berbeda dengan asumsi awal dimana semakin tebal suatu lapisan semakin susah atau semakin lama waktu yang diperlukan oleh air untuk melewatinya. Kemampuan untuk menahan air ini sangat berpengaruh terhadap

laju korosi atau performa dari lapisan *coating*. Berdasarkan hasil SEM, dapat diketahui bahwa besarnya pori yang terjadi semakin besar dengan semakin tebalnya lapisan *coating*, hal ini lah yang menyebabkan bahwa permeabilitas pada lapisan yang tebal, lebih tinggi dari pada lapisan yang tipis.



Gambar 5.3 Nilai maksimum dari pertambahan berat sampel setelah uji *water vapor permeability test*

Tabel 5.3 dibawah berikut merupakan nilai dari permeability masing-masing lapisan *coating* yang diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.1 berikut:

$$\text{Permeability (P)} = \text{WVP} \cdot l \quad \dots (3.1)$$

Dimana:

$$\text{WVT} = \frac{m}{A \cdot t} \quad \dots (3.2)$$

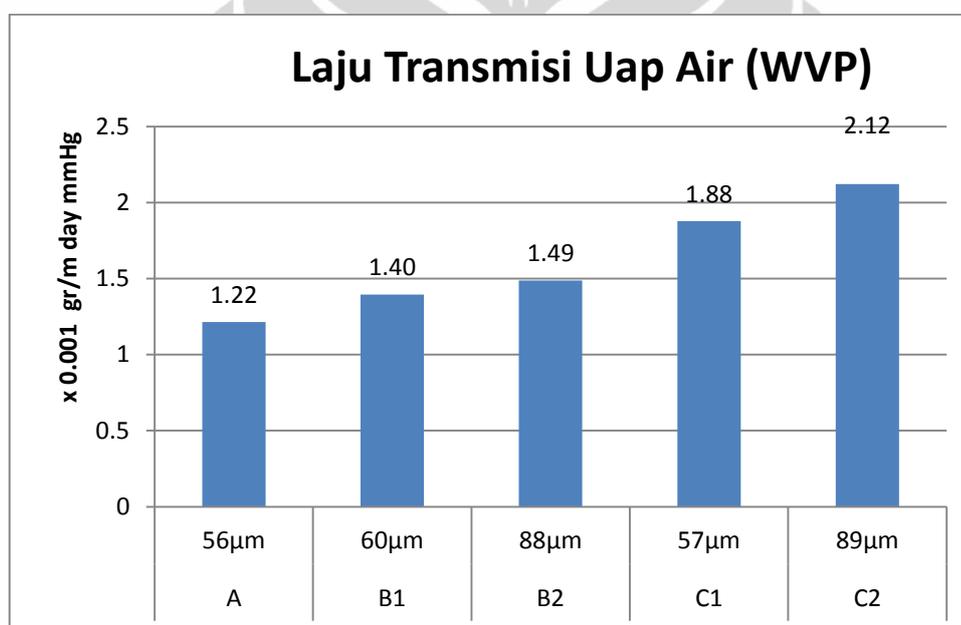
$$\Delta P = S (R_2 - R_1) \quad \dots (3.3)$$

$$\text{WVP} = \text{WVT} / \Delta P \quad \dots (3.4)$$



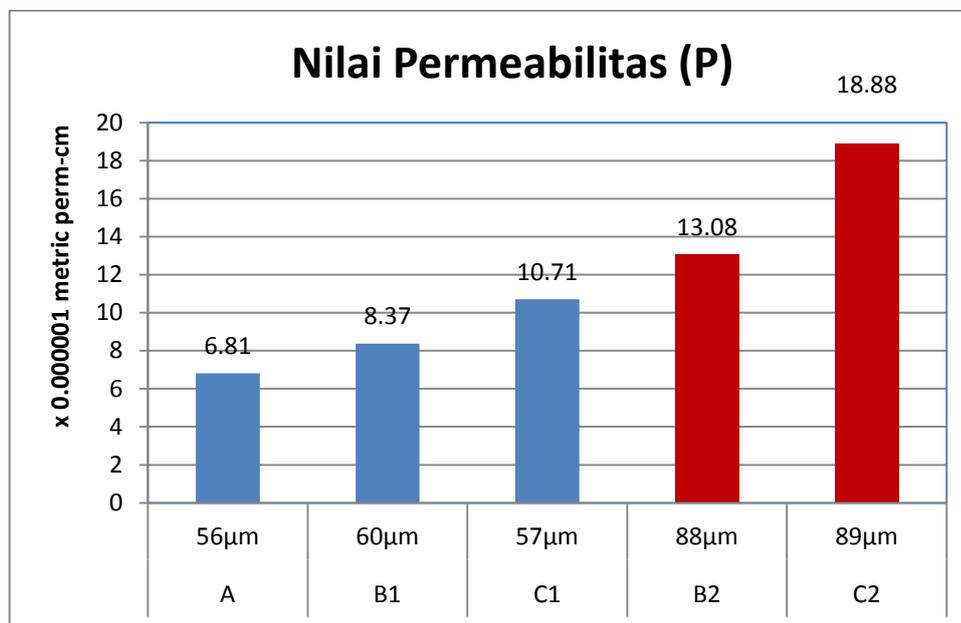
Tabel 5.3 Nilai permeabilitas masing-masing sampel uji.

Sa m pel	D.F.T	G	T	A	WVT	S	% Kelembaban		ΔP	WVP	P
	cm	gram	day	m ²	g.m ⁻² 24h ⁻¹	mmHg	R1	R2	mmHg	gm ⁻² 24h ⁻¹ mmHg ⁻¹	metric perm-cm
A	0.0056	0.5895	6	0.3800	0.258553	690.06	0.642	0.95	212.7685	0.001215	6.81E-06
B1	0.0060	0.5490	5	0.3800	0.288947	690.06	0.65	0.95	207.018	0.001396	8.37E-06
B2	0.0088	0.4678	4	0.3800	0.307763	690.06	0.65	0.95	207.018	0.001487	1.31E-05
C1	0.0057	0.4802	3	0.3800	0.421228	690.06	0.64	0.95	213.9186	0.001969	1.12E-05
C2	0.0089	0.3505	2	0.3800	0.461184	690.06	0.635	0.95	217.3689	0.002122	1.89E-05



Gambar 5.4 Laju Transmisi Uap Air (WVP) masing-masing sample

Gambar 5.4 menunjukkan nilai dari laju uap air terhadap masing-masing sampel, terlihat bahwa *coating black* (sampel A) memiliki nilai yang paling rendah, diikuti oleh *coating semi clear* (sampel B1 dan B2) dan kemudian *coating clear* (sampel C1 dan C2).



Gambar 5.5 Nilai permeabilitas masing-masing sampel uji

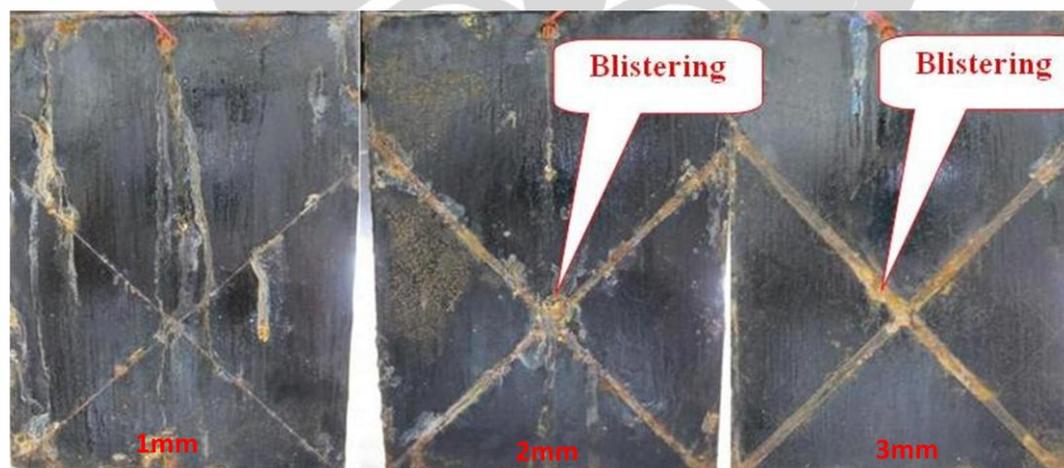
Gambar 5.5 Nilai permeabilitas masing-masing sampel uji diatas terlihat adanya perbedaan nilai permeabilitas, nilai permeabilitas sendiri dapat diartikan sebagai kemampuan suatu material untuk dilewati atau meloloskan air atau udara (oksigen). Kemudahan air atau oksigen menembus lapisan cat dipengaruhi oleh jalur (*path*) yang ada pada lapisan cat itu sendiri. Jika suatu lapisan memiliki banyak pori maka semakin mudah untuk dilewati oleh air dan oksigen, sedangkan semakin sedikit pori yang ada maka semakin sulit untuk ditembus oleh oksigen dan air. Karena air dan oksigen akan mudah menembus lapisan melewati lubang-lubang yang ada di lapisan itu sendiri. Pori-pori ini kemungkinan terbentuk macam-macam, mulai dari susunan dan bentuk struktur dari unsur pigmen sendiri apakah berbentuk bulat atau flake. Pori-pori juga terbentuk dari jejak yang ditinggalkan oleh pelarut yang terperangkap selama pengeringan.

Dengan tebal lapisan yang sama, lapisan *coating black* (sampel A) memiliki nilai permeability yang paling rendah, diikuti sampel B1, dan C1, sedangkan untuk *coating semi clear 2* (sampel B2) yang memiliki 20% kandungan

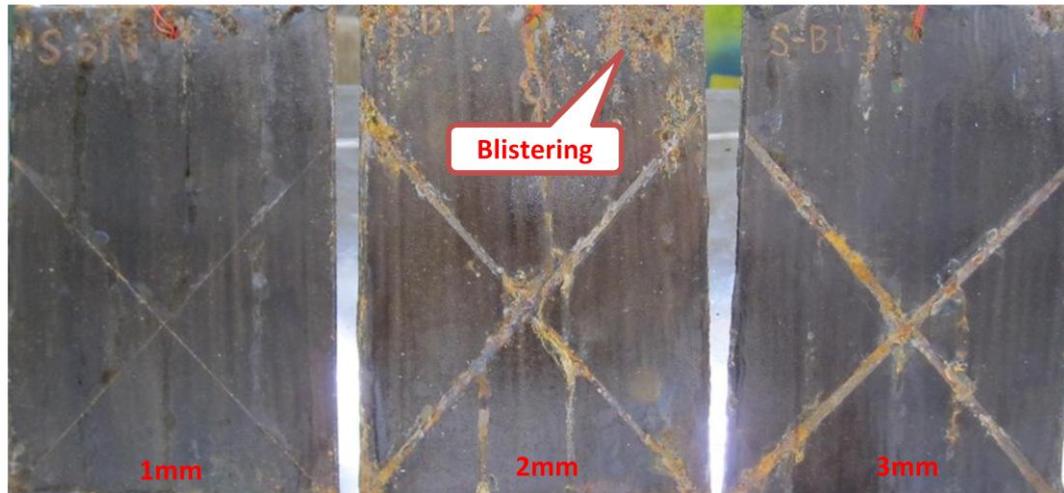
bituminous juga mempunyai nilai *permeability* yang lebih rendah dari lapisan *coating clear 2* (sampel C2), hal ini tidak berbeda jauh dengan analisa diatas sehingga dikatakan bahwa *bituminous* meningkatkan kemampuan *coating* didalam menahan rembesan air, hal ini juga berpengaruh terhadap ketahanan korosinya tetapi pada penambahan tebal dari *coating* malah menurunkan peforma ketahanan korosinya.

5.3. Pembahasan Uji Sembur Garam (*Salt Spray Test*)

Data hasil pengujian ini tidak begitu menunjukkan informasi yang signifikan tentang peforma dari masing – masing jenis *coating*, karena nilai pertambahan lebar goresan yang didapat setelah dilakukan penyemprotan kabut garam (NaCl 5%) selama 120 jam relative sama dengan mengacu kepada Tabel 3.4 yaitu rating 9 (0-0,5mm). Sehingga bisa dikatakan mempunyai ketahan yang sama pada lingkungan korosi yang terkontrol.

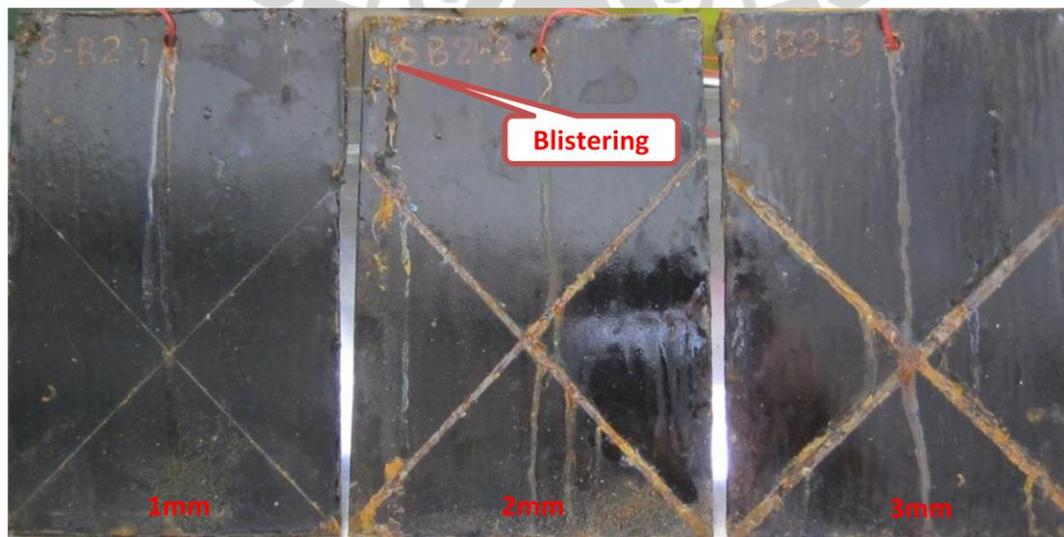


Gambar 5.6 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada *coating Black* (Sampel A dengan DFT 50 μ m)

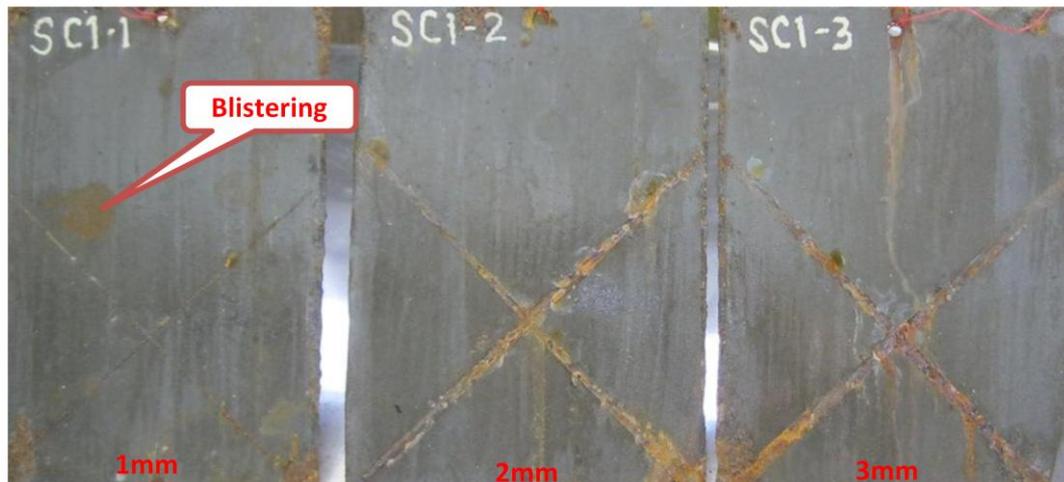


Gambar 5.7 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada *coating Semi clear 1* (Sampel B1 dengan DFT 50µm)

Goresan diagonal yang dibuat pada lapisan hingga permukaan *substrat* terlihat digunakan sebagai tempat inisiasi korosi. Dimana inisiasi korosi terjadi di bawah lapisan film pada sisi lapisan yang rusak, hal itu dapat membuat *coating* tidak lagi memproteksi *substrat* dengan baik. Umumnya daerah inisiasi korosi terjadi pada bagian bawah, hal ini dikarenakan pengaruh terkonsentrasinya larutan akibat pengaruh gravitasi. Sesuai dengan pengalaman di lapangan bahwa umumnya korosi yang diakibatkan oleh fluida terjadi pada bagian bawah (arah jam 6 pada pipa).

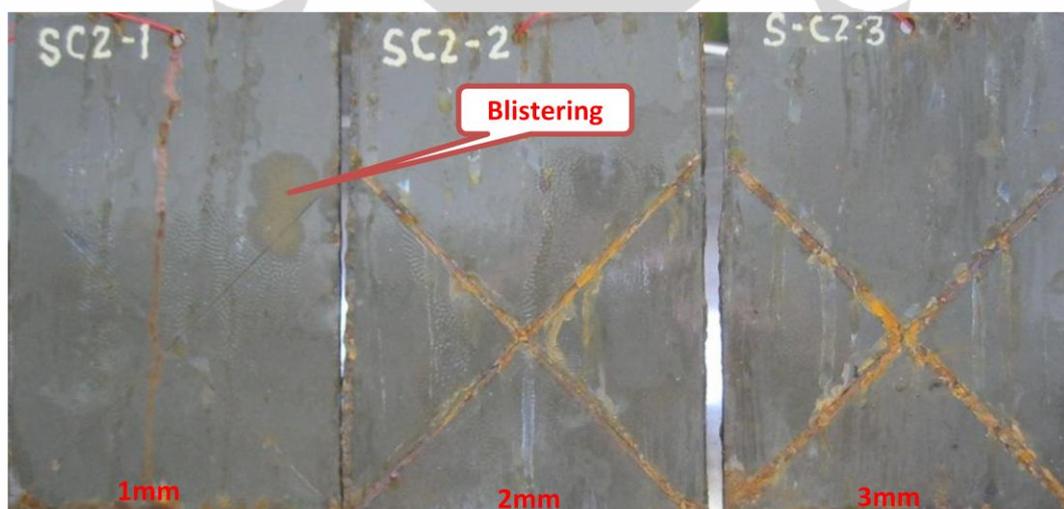


Gambar 5.8 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada *coating Semi clear 2* (Sampel B2 dengan DFT 80µm)



Gambar 5.9 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada *coating Clear 1* (Sampel C1 dengan DFT 50 μ m)

Pada permukaan lapisan tiap-tiap sampel setelah pengujian *salt spray* terjadi peristiwa *blistering* (pelepuhan) pada sampel uji yang dilapisi dengan *coating*. Hal ini dapat terjadi diakibatkan karena pori – pori yang terjadi akibat adanya terperangkapnya *solvent* yang pada kasus ini adalah *toloune* dan *Aliphatic Hydrocarbon*. Laju penguapan relatif dari *solvent* dipengaruhi oleh *relative humidity* (kelembaban relatif).



Gambar 5.10 Analisa Hasil Uji sembur kabut garam pada *coating Clear 2* (Sampel C2 dengan DFT 80 μ m)

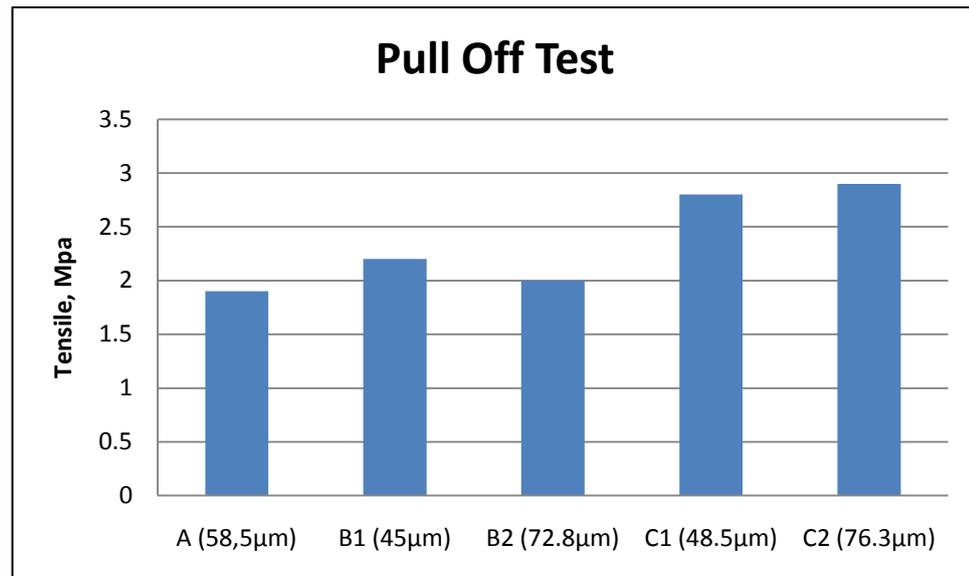
5.4. Pembahasan hasil Uji Adhesi / *Pull Off Test*

Preparasi permukaan yang telah dilakukan bertujuan untuk mendapatkan permukaan yang bebas dari kontaminan serta menciptakan kekasaran pada

permukaan. Saat permukaan semakin kasar, maka pori/celah/lubang yang ada permukaan *substrat* semakin dalam sehingga saat pengaplikasian, *coating* dapat masuk ke dalam celah tersebut dan mengikat *substrat* dengan lebih baik. Maka terjadilah *mechanical interlocking* antara *coating* dan *substrat* baja. Namun, saat *coating* tidak berpenetrasi dengan baik ke dalam *substrat*, maka kontak antar *coating* dan *substrat* menjadi kurang. Hal itu dapat menimbulkan void antara *coating* dan *substrat* di mana udara terjebak di dalamnya.

Selain *mechanical interlocking*, untuk terjadi adesi antara *coating* dengan *substrat* maka juga dibutuhkan *wetting* (pembahasan) oleh *coating* pada permukaan *substrat*. *Wetting* akan terjadi saat tegangan permukaan liquid (*coating*) lebih kecil dibandingkan tegangan permukaan *substrat*. Umumnya permukaan logam memiliki tegangan permukaan yang tinggi sehingga *coating* dapat membasahi permukaan *substrat*. Namun, saat permukaan *substrat* tidak bersih (terdapat kontaminan), maka *wetting* tersebut dapat terganggu. Karena kontaminan memiliki tegangan permukaan yang rendah, maka proses *wetting* dari *coating* pada *substrat* akan lebih sulit. Hal ini akan mempengaruhi adesi antara *coating* dengan *substrat*.

Gambar 5.11 merupakan grafik turunan dari Tabel 4.10, terlihat bahwa nilai kekuatan adesi pada lapisan *coating clear* (sampel C1 dan C2) lebih baik dari pada lapisan *coating semi clear* (sampel B1 dan B2) dan juga pada lapisan *coating black* (sampel A). Dari segi komposisi, faktor yang mungkin menyebabkan kekuatannya adhesi meningkat adalah unsur pelarut *aliphatic Hydrocarbon*, dikarenakan unsur ini menyebabkan *coating* lebih encer (viskositas turun) sehingga mampu menjelajahi bagian permukaan *substrat* dalam mengantarkan bagian *coating* yang lain dan membuat posisi *crosslinking* yang kuat antara *base* dan *activator* setelah kering. Dan semakin banyak unsur pelarut ini juga membuat laju pengeringan *coating* lebih cepat.



Gambar 5.11 Hasil Pengujian Adhesi terhadap masing masing sampel



Gambar 5.12 Bentuk kegagalan pada pengujian adhesi *test* sampel *semi clear 2* (sampel B2)

Gambar 5.12 terlihat bahwa *failure* yang terjadi setelah dilakukan uji adesi dengan metode *pull-off*, terhadap semua sampel adalah *adhesive failure*. *Adhesive failure* terjadi saat *coating* tidak dapat menahan gaya/beban dari luar,

sehingga kerusakan terjadi pada daerah interface *coating* dan *substrat*. Hal ini dapat terjadi berdasarkan hasil pengamatan mikrostruktur dimana pada daerah tersebut memiliki morfologi yang tidak homogen dan tidak padat / berpori, terutama pada *coating black* (sampel A) pada Gambar 4.1, ada nya gap yang sangat besar antara *coating* dan *substrat*.



6. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian, pengamatan dan analisa, dapat dilihat bahwa penggunaan *temporary coating* dengan variasi warna (*bituminous*) dan tebal lapisan *coating*, secara keseluruhan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Keberadaan *bituminous* material dalam *temporary organic coating* mempengaruhi jumlah kepadatan lapisan DFT *coating*, hal ini berdasarkan hasil pengamatan mikroskopik (SEM) dan pengujian *water vapor Permeability*, secara berturut-turut lapisan *coating black* (Sampel A) dengan komposisi *bituminous* yang tinggi (40-50%), memiliki jumlah pori dan permeabilitas yang kecil dibandingkan dengan lapisan *coating semi clear* (Sampel B1 dan B2) dengan komposisi (10-30%), dan juga terhadap lapisan *coating clear* (sampel C1 dan C2) yang tidak mengandung *bituminous*).
2. Penambahan tebal lapisan dalam satu kali pengaplikasian tidak akan menambah performa dari lapisan *coating* tersebut, hal ini dikarenakan semakin tebal lapisan yang diaplikasikan semakin memperlambat laju penguapan dari pelarut, pelarut *aliphatic hydrocarbon* mempunyai kecepatan penguapan yang tinggi (seperti bensin), sehingga bagian yang bersentuhan dengan udara mengalami pengeringan yang cepat dan bagian pelarut yang dibawah terperangkap dan tidak menguap secara sempurna sehingga meninggalkan jejak berupa pori yang tidak teratur dan menurunkan performa *coating*.
3. Dari segi kekuatan adesinya, keberadaan *bituminous* mengurangi daya adesinya. Seperti ulasan pada pengamatan mikroskopik (SEM), terlihat bahwa *mechanical interlocking* tidak begitu sempurna pada *coating* yang mengandung *bituminous*. Sehingga lapisan *coating clear* (sampel C1 dan C2) yang memiliki kekuatan adesi yang cukup dari sampel yang lain, lebih cocok diaplikasikan pada material / equipment yang mengalami handling yang cukup tinggi dan ukuran besar. Hal lain adalah untuk jenis *temporary coating* ikatan yang terjadi antara *substrat* dan *coating* adalah ikatan kimia, sehingga tidak begitu diperlukan persiapan permukaan *substrat* sesuai

dengan Sa 21/2 atau dengan kata lain tidak diperlukan *sand blasting*, jadi cukup base metal yang bersih dari kontaminasi kotoran dan minyak.

4. *Coating semiclear (semi transparan)* dengan komposisi *bituminous* (10-30%) cocok untuk diaplikasikan untuk material yang memerlukan *traceability marking*, namun mempunyai performa korosi diantara *coating black* dan *coating clear*, hal ini hanya pada *Dry Film Thickness (DFT) \pm 50 μ m*.



DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Modul training Prediktif Maintenance
[http://www.6221.net/detailseminar/0905150002/info/Preventive&Predictiv
eMaintenance](http://www.6221.net/detailseminar/0905150002/info/Preventive&Predictiv
eMaintenance) (diakses pada 3 February 2010)
- [2]. Schweitzer, Philip A, *Paint and Coating- Applications and Corrosion
Resistance*, Taylor & Francais Group, New York, 2006.
- [3]. American Petroleum Institute, *Specification for Casing and Tubing*,
Standard API 5CT, 2006
- [4]. David McKruit, *Selecting the right temporary coating: Choices abound for
tube and pipe applications*, **TPJ - THE TUBE & PIPE JOURNAL®.
2001**
- [5]. Forgesen, Amy, *Corrosion Control through Organic Coatings*, Taylor &
Francais Group, New York, 2006.
- [6]. ASTM Organization, *Test Methode for salt spray test - Standard
ASTMB117-03*, Annual Book of ASTM Standard. United States, 2003.
- [7]. The Society for Protective Coating, *Systems and Specifications SSPC,
Painting Manual Volume 1 & 2 Eighth Edition*, Pittsburgh, PA
- [8]. S. González, I.C. Mirza Rosca, R.M. Souto*, "Investigation of the corrosion
resistance characteristics of pigments in alkyd coatings on steel"
Department of Physical Chemistry, University of La Laguna, E-38071 La
Laguna, Canary Islands, Spain, 2001
- [9]. Jotun, *Jotun Paint School Modul Chapter 2 – What is Paint*, Jotun,
Nowregia, 1998.
- [10]. Wicks Zeno W, Jones Frank, and Papas S. Peter, *Organic Coatings:
Science and Technology 2nd Edition*, Willey International, 1999.
- [11]. Material Science and Engineering
[http://material-sciences.blogspot.com/2010/08/mengapa-coating-
mengalami-kegagalan.html](http://material-sciences.blogspot.com/2010/08/mengapa-coating-
mengalami-kegagalan.html) (diakses 12 Desember 2010)
- [12]. *IUPAC, Compendium of Chemical Terminology*, 2nd ed. (the "Gold
Book"), 1997
- [13]. Wikipedia
http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Alkyd_resin(diakses pada 3
September 2010)
- [14]. Cindu-Key and Kramer Laboratory,
Blistering in bituminous coatings, Cindu N.V., Uithoorn, Netherlands
- [15]. Mathai, John (Chicago, IL) , Druetzler, Thomas W. (Riverdale, IL) ,
*Aliphatic hydrocarbon solvent reducible acrylic enamel of improved
quality*. 1997