ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KOROSI LAPISAN *THREE LAYER POLYETHYLENE* PIPA *API 5L GRADE B*

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun oleh :

BUDI SAPUTRA
NIM. 0110620030

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2007

repository.ub.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KOROSI LAPISAN *THREE LAYER POLYETHYLENE* PIPA *API 5L GRADE B*

SKRIPSI

Kosentrasi Produksi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

Budi Saputra
NIM : 0110620030

Telah Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Dosen pembimbing I	Dosen pembimbing II
Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT.	**Widya Wijayanti, ST., MT.**
NIP : 131 280 655	**NIP : 132 231 566**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP KOROSI LAPISAN *THREE LAYER POLYETHYLENE* PIPA *API 5L GRADE B*

Disusun Oleh :
BUDI SAPUTRA
NIM. 0110620030

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 12 Juli 2007

Skripsi 1	Skripsi 2
Ir. Djoko Sutikno, M.Eng	Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT
NIP. 131 276 249	NIP. 130 531 861

Komperehensip

Ir. Saifuddin Baedowie
NIP. 130 350 753

Mengetahui
Ketua jurusan teknik mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 132 159 708

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI ..... **i**

DAFTAR TABEL ..... **iv**

DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK ..... **v**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **vi**

ABSTRAK ..... **vii**

KATA PENGANTAR ..... **viii**

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Manfaat Penelitian 3

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang pernah dilakukan 4

2.2 Epoxy Powder 5

2.2.1 Pengertian 6

2.2.2 Sifat mekanis 6

2.2.3 Bahan Epoxy 6

2.3 Polyethylene 7

2.3.1 Pengertian 7

2.3.2 Karakteristik 7

2.3.3 Sifat Kimia 8

2.3.4 Permeabilitas gas 8

2.3.6 Mampu olah 9

2.3.7 Sifat mekanis 9

2.3.8 Penggunaan 10

2.4 Material Pipa API 5L Grade *GRADE B* 10

2.4.1 Sifat Mekanis .....

2.4.2 Komposisi kimia 10
2.5 Lapisan Pada Pipa (*Coating Pipe*) 10
2.5.1 *Coal-tar enamel/asphalt* (bitumen) 10
2.5.2 *Liquid coatings* 11
2.5.3 *Two-layer polyolefin* 11
2.5.4 *Three-layer polyolefin* 11
2.5.5 *Polymeric tapes* 11
2.5.6 *Heat shrinkable tapes* 11
2.5.7 FBE (*Fusion Bonded Epoxy*) 11
2.6 Katodik Disbonding Test 12
2.7 Korosi 14
2.7.1 Pengertian 14
2.7.2 Jenis korosi 14
2.7.3 Bentuk-bentuk korosi 15
2.7.4 Hal-hal yang mempengaruhi korosi 15
2.8 Hipotesis 19

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi 20
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 20
3.3 Bahan dan Peralatan 20
3.3.1 Bahan 20
3.3.2 Peralatan 23
3.4 Variabel penelitian 24
3.5 Prosedur dan metode penelitian 25
3.6 Rancangan Penelitian 28
3.6.1 Analisa statistik 28
3.6.2 Analisa Varian Satu Arah 28
3.7 Diagram alir penelitian 31

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data hasil pengujian 32

4.2. Analisa varian 33
4.3. Pembahasan grafik dan permasalahan 35
4.4 Kelayakan terhadap standar 40
V. KESIMPULAN DAN SARAN
5.1 Kesimpulan 41
5.2 Saran 41
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat mekanis polietilen	9
Tabel 3.1	Rancangan penelitian radius korosi akibat uji katodik disbonding	28
Tabel 3.2	Analisis varian satu arah	30
Tabel 4.1	Data hasil uji katodik disbonding	32
Tabel 4.2.	Analisa varian satu arah	35

DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Struktur Monomer Epoxy	5
Gambar 2.2	Reaksi Polimerisasi Etilen	7
Gambar 2.3	Pengaruh penambahan *oxidizers* terhadap jumlah korosi	16
Gambar 2.4	Pengaruh kecepatan korosi terhadap jumlah korosi	17
Gambar 2.5	Grafik pengaruh temperatur terhadap jumlah korosi	17
Gambar 2.6	Grafik pengaruh *galvanic coupling* terhadap jumlah korosi	18
Gambar 2.7	Grafik pengaruh kosentrasi zat pengkorosi terhadap jumlah	19
Gambar 3.1	Spesimen yang sudah dilubangi	25
Gambar.3.2	Spesimen dengan tabung plastik	26
Gambar 3.3	Skema pengujian katodik disbonding	27
Gambar 3.4	Bahan uji yang telah diuji katodik disbonding	27
Gambar 4.1	Bagian-bagian yang diamati dari bahan uji	32
Gambar 4.3	Pengelupasan lapisan *Polyethylene* pada temperatur 85°C	38
Gambar 4.4	Pengelupasan lapisan *Polyethylene* pada temperatur 95°C	39
Grafik 4.1	Hubungan temperatur dengan radius korosi	35

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1	***Table 2A-PSL1 Chemical requirements for heat and product analices by percentage of weight & Table 2B-PSL2 Chemical requirements for heat and product analices by percentage of weight***
Lampiran 2	***Table 3A Tensile requirements for PSL 1 & Table 3B Tensile requirements for PSL 2***
Lampiran 3	***Point 12.8 Cathodic disbondment of the coating***
Lampiran 4	***Table 1. Epoxy powder properties & Table 2. Coating qualification tes reqierements***
Lampiran 5	***Table 3. Laboratory coating tes reqierements & Table 4. Production coating tes reqierements***
Lampiran 6	***Dimensional and visual inspection of polyethylene coating report***
Lampiran 7	**Sertifikat material *Fusion Bonded Epoxy***
Lampiran 8	**Sertifikat material *Adhesive***
Lampiran 9	**Sertifikat material *Polyethylene***

ABSTRAK

Budi Saputra, 12 Juli 2007
Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Korosi Lapisan *Three Layer Polyethylene* Pipa *API 5l Grade B*
Skripsi Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
Dosen pembimbing: 1. Ir. Winarno Yahdi A, MT.
2. Widya Wijayanti, ST., MT.

Three layer polyethylene merupakan salah jenis lapisan yang digunakan dalam pengadaan pipa saluran gas. Lapisan ini terdiri dari tiga susunan yaitu: *fusion bonded epoxy, adhesive, polyethylene*. Saat digunakan dalam penyaluran bahan bakar gas lapisan pipa ini harus tahan korosi dan tahan terhadap beban mekanis. Salah satu penyebab terjadinya korosi adalah temperatur yang tinggi, sehingga untuk mengetahui ketahanan korosinya maka kita harus menguji sampel dari pipa yang telah terlapisi *three layer polyethylene* terhadap kenaikan temperatur. Salah satu metode untuk menilai ketahahanan korosi lapisan ini adalah dengan katodik disbonding (*cathodic disbondment*). Parameter yang diperhitungkan adalah nilai radius korosi pada lapisan *fusion bonded epoxy* dengan satuan milimeter(mm).

Komponen-komponen didalam katodik disbonding(*cathodic disbondment*) adalah elektrode(anode, katode, *reference*), voltase, larutan elektrolit. Dalam katodik disbonding(*cathodic disbondment*) diterapkan prinsip elektrolisis karena cell yang terdiri dari elektrode dan larutan elektrolit tersebut diberi tegangan(voltase). Dalam pengujian ini tegangan(voltase) yang digunakan sebesar 3,5 volt(dijaga konstan) pada larutan NaCl 3% dan dengan varisasi temperatur sebesar 25°C, 45°C, 65°C, 85°C, 95°C. Ketahanan korosi lapisan tersebut dapat kita nilai melalui radius korosi pada lapisan *fusion bonded epoxy* yang dihasilkan tiap sepesimen pada temperatur berbeda selama 24jam.

Dari hasil pengujian selama 24 jam kita ketahui bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin besar pula nilai radius korosi pada lapisan *fusion bonded epoxy*. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka semakin banyak reduksi ion hidrogen (H^{+}) dan semakin banyak ion OH^{-} yang dihasilkan dalam cell elektrolisis tersebut. Sehingga larutan semakin bersifat basah dan akhirnya akan mempercepat reaksi.

Kata kunci : *three layer polyethylene, fusion bonded epoxy*, voltase, temperatur, radius korosi.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT, karena hanya dengan rahmat dan hidayah-NYA penulis dapt menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Korosi Lapisan *Three Layer Polyethylene* Pipa *API 5l Grade B*".**

Skripsi ini dibuat oleh penulis sebagai salah satu persyaratan bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjan Teknik.

Atas dukungan dan kerja sama dari berbagai pihak sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Tjuk Oerbandono selaku sekretaris jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang
3. Bapak Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT. selaku dosen pembimbing pertama yang banyak memberi masukan serta nasehat atas terselesaikannya skripsi ini.
4. Ibu Widya Wijayanti, ST., MT. selaku dosen pembimbing ke-dua yang banyak memberi masukan serta nasehat atas terselesaikannya skripsi ini.
5. Bapak Soelasno selaku Assistant Plan Manager PT. SPINDO UNIT IV Beji pasuruan.
6. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng selaku dosen penguji Skripsi I yang telah memberikan kelulusan saat saya menjalani ujian Skripsi.
7. Bapak Ir. Marsoedi Wirohardjo, M.MT selaku dosen penguji Skripsi II yang telah memberikan kelulusan saat saya menjalani ujian Skripsi.
8. Bapak Ir. Saiffudin Baedowi, MT. selaku dosen penguji Komprehensip yang telah memberikan kelulusan saat saya menjalani ujian Skripsi.
9. Bapak Adi selaku Staff Quality Control PT. SPINDO UNIT IV Beji pasuruan.
10. Seluruh staff pengajar jurusan Teknik Mesin.

11. Kedua orangtuaku yang tiada henti-hentinya mendoakan dan bersabar demi kebaikan anaknya.
12. Saudaraku yang senantiasa mendukungku dengan segala macam dukungannya.
13. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin yang secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Dengan keterbatasan ilmu yang penulis miliki, tentunya skripsi ini masih banyak membutuhkan masukan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaannya. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca.

Malang, 12 Juli 2007

Penulis

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Telah kita ketahui bersama bahwa Pertamina sekarang ini sedang menggalakkan penggunaan bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak yang keberadaannya semakin menipis. Dan salah satu bahan bakar alternatif yang dimaksud itu adalah gas. Bahan bakar ini lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar minyak, seperti yang kita ketahui dari berbagai media akhir-akhir ini. Hanya saja untuk proses penyalurannya dibutuhkan biaya yang besar karena bahan bakar gas membutuhkan pipa saluran khusus. Pipa yang digunakan harus memiliki lapisan tertentu untuk dapat menjaga sifat gas sehingga berfungsi dengan baik sebagai bahan bakar dan memperkecil resiko kecelakaan, seperti meledak dan kebakaran.

Untuk memenuhi persyaratan itu ada beberapa jenis lapisan yang digunakan dalam pipa saluran gas, seperti yang dikatakan **David Norman, 2005 (England)** dalam jurnalnya menjelaskan bahwa jenis lapisan untuk pipa saluran gas atau saluran minyak yang mana pipa tersebut biasa digunakan dalam temperatur yang tinggi dilapisi dengan: 3LPE (*Three Layer Polyethylene*), 3LPP (*Three Layer Polyprophilene*), mono-layer FBE (*Fusion Bonded Epoxy*), dan *mono-layer* PE (*Polyethylene*). Selain itu juga dijelaskan bahwa keberhasilan dalam pengadaan pipa saluran gas dengan lapisan anti korosi dan tahan beban mekanis tergantung pada teknik produksi, kontruksi, perawatan dan biaya. Karena semua faktor tersebut akan berpengaruh terhadap usia dari pipa.

Berkaitan dengan fungsi pipa diatas maka perlu adanya kontrol yang dilakukan oleh pihak pabrikan maupun pihak yang melaksanakan proyek saluran gas tersebut. Dalam pipa *three layer polyethylene* ada beberapa pengujian yang harus dijalani, yaitu *cathodic disbonding test*, *tesile test*, *fleksibility test*, *elongation test*, *peel cure test*. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar CSA Z 245.20-02 untuk keamanan dalam penggunaan di lapangan sekaligus memperpanjang usia pipa selama digunakan dalam menyalurkan gas.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti, yaitu:

1. Bagaimanakah pengaruh temperatur terhadap korosi lapisan *three-layer polyethylene* pipa *API 5L grade B* ?
2. Bagaimanakah kelayakan hasil pengujian terhadap kriteria yang terdapat dalam standar pelapisan *three-layer polyethylene* ?

1.3 Tujuan penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui:

1. Pengaruh temperatur terhadap korosi lapisan *three-layer polyethylene* pipa *API 5L grade B.*
2. Kelayakan hasil pengujian terhadap kriteria yang terdapat dalam standar pelapisan *three-layer polyethylene*.

1.4 Batasan Masalah

Material pipa yang dipakai sesuai dengan standar *API 5L GRADE B,* proses pengelasan dilakukan dengan sistem *SAW* (*Sub-merged Arc Welding*). Lapisan yang dipakai adalah *Three-layer Polyethylene* dengan lapisan pertama berupa lapisan *fusion bonded epoxy* (*FBE*) kemudian yang ke-dua adalah lapisan *adhesive,* dan yang terakhir adalah lapisan *polyethylene*. Dimensi pipa Ø254 mm x 11,13 mm x 12000 mm.

Untuk mengetahui kualitas dari lapisan pipa, sesuai dengan standar *CSA Z 245.20-02* maka pengujian yang harus dilakukan adalah pengujian katodik disbonding. Kualitas dari lapisan *Three-layer Polyethylene* dapat dilihat dari kemampuan terkorosi pada lapisan tersebut.

1.5 Manfaat Penelitian

1. **Bagi penulis**

Dapat menerapkan teori-teori yang sudah ada, agar mampu memecahkan persoalan-persoalan nyata yang ada di lapangan, serta dapat menambah bahan kajian yang berguna bagi dunia pendidikan, khususnya tentang pelapisan pipa (*coating pipe*) jenis *three-layer polyethylene*.

2. **Bagi dunia industri**

Dari hasil analisa ini, diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan pemilihan sistem sekaligus parameter pelapisan yang tepat sesuai yang dibutuhkan di lapangan. Selain itu dengan mengetahui pengaruh temperatur pengujian katodik disbonding maka kita akan dapat memperhitungkan dan memprediksikan kekuatan pipa tersebut setelah digunakan sebagai saluran gas akibat pengaruh temperatur lingkungan atau temperatur gas yang melewati pipa tersebut. Sehingga kegiatan perawatan dapat terjadwal dengan baik dan membutuhkan biaya yang minimum.

BAB II
Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Yang Pernah Dilakukan

Katherine Cameron, Dennis Wong, Jiri Holub, 2005. Dalam penelitiannya didapatkan bahwa peningkatan temperatur berpengaruh terhadap kecepatan reaksi dalam uji katodik disbonding. Temperatur pengujian yang digunakan adalah 23°C, 65°C, 80°C, dan 95°C. Dari hasil pengujian terjadi peningkatan kecepatan reaksi mulai dari temperatur 23°C sampai 80°C, akan tetapi pada temperatur 95°C kecepatan reaksi lebih kecil dibanding dengan 65°C dan 80°C, pada temperatur tersebut tidak lagi terjadi peningkatan kecepatan reaksi melainkan menurun. Menurut mereka hal itu terjadi akibat lebih sedikit oksigen yang terurai pada elektrolit dan kandungan OH^- lebih sedikit ketimbang pengujian dengan temperatur 65°C dan 80°C.

Linda Gray, Edmonton, Alberta, Canada. Beranggapan bahwa tidak semua pengujian katodik disbonding pada sistem lapisan FBE memiliki kecepatan reaksi maksimum pada temperatur 65°C, melainkan berkisar antara 25°C - 95°C. Faktor lain yang berpengaruh terhadap permasalahan tersebut adalah perubahan pada kemampuan larut dan turunan dari chloralkali. Selain itu dimungkinkan terjadi perubahan kekerasan/kelunakan dan kekenyalan dari lapisan FBE saat terkena temperatur diatas temperatur transisi menjadi glass.

Selain itu jika kosentrasi zat terlarut dan pelarut yang digunakan dalam larutan elektrolit berbeda dengan standar yang diminta maka akan menghasilkan nilai yang berbeda pula. Kosentrasi larutan yang dianjurkan adalah 3% NaCl; yaitu mengandung 1% NaCl, $NaSO_4$, and $NaCO_3$; air laut alami; atau air laut sintetik.

David Norman dan Dr. Colin Argent. England. Dalam pembahasan yang sama mengenahi FBE, *Three-Layer Polyethylene*, dan *Cathodic Disbonding Test* menjelaskan bahwa langkah yang umum digunakan untuk mengetahui ketahanan lapisan *Three-Layer Polyethylene* terutama pada lapisan FBE adalah dengan menggunakan *Cathodic Disbonding Test*. Menurut mereka kerusakan

pada lapisan *Three-Layer Polyethylene* saat digunakan di lapangan adalah karena dua faktor, yaitu:

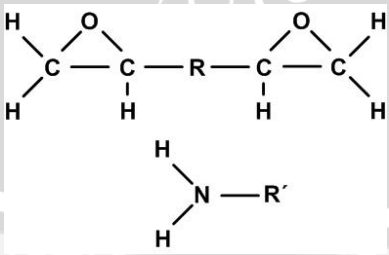
1. Persiapan permukaan yang kurang baik, meliputi kebersihan permukaan pipa, hasil *blasting*, dan perlakuan kimia sebelum pipa tersebut dicoating.
2. Temperatur pelapisan antara lapisan FBE dengan adhesif. Saat proses ini temperatur harus dikontrol sehingga akan menghasilkan ikatan yang baik antara lapisan FBE dan adhesif.

Untuk mengetahui baik tidaknya ikatan lapisan dengan permukaan pipa itulah maka perlu diuji dengan menggunakan *Cathodic Disbonding Test*.

2.2 Epoxy Powder

2.2.1 Pengertian

Epoxy merupakan salah satu jenis polimer termosetting. Polimer jenis ini akan menjadi keras dan kaku setelah dipanaskan. Tidak seperti polimer termoplastik, polimer jenis ini tidak mengalami kehilangan massa. Hal ini merupakan karakteristik struktur jaringan yang dibentuk saat tahap petumbuhan (*growth mechanism*). Kecepatan reaksi dapat dinaikkan dengan cara menaikkan temperatur. Polimer jenis ini dapat langsung digunakan dalam proses pembentukan tanpa harus didinginkan dulu setelah proses pelelehan (200–300°C), berbeda dengan polimer jenis termoplastik yang harus didinginkan dulu jika akan dibentuk. Berikut adalah struktur monomer dari Epoxy: **(Shackelford, 1992 : 452)**



Gambar. 2.1 Struktur Monomer Epoxy
Sumber : Shackelford, 1992 : 453

2.2.2 Sifat mekanis

Epoxy merupakan polimer jenis termosetting dengan sifat mekanis sebagai berikut:

1. Modulus elastisitas : 6900 MPa
2. Tensile strength : 69 MPa
3. Elongation : 0 %
4. Rockwell Hardness : 90 Rockwell
5. Kekuatan impact : 1,1 Joule
6. K_{IC} : 0,3 – 0,5 (MPa $\sqrt{m}$)

(Sumber : Shackelford, 1992 : 470)

2.2.3 Bahan Epoxy

Pada saat ini produknya adalah kebanyakan merupakan kondensat dari bisfenol A (4-4' dihifroksidifinil 2,2-propanon) dan epiklorhidrin. Bisfenol A diganti dengan *novolak*, atau senyawa tak jenuh, *siklipentadian*, dan sebagainya. Resin epoxy bereaksi dengan pengeras dan menjadi unggul dalam kekuatan mekanik dan ketahanan kimia. Sifatnya bervariasi bergantung pada jenis, kondisi dan pencampuran dengan pengerasnya. Banyaknya campuran dihitung dari ekivalen epoksi (banyaknya resin yang mengandung 1 mol gugus epoksi dalam gram). **(Surdia, 1985 : 258-259)**

Berikut ini adalah jenis dari bahan epoxy:

1. **Resin Bisfenol A**

Kelekatanya terhadap bahan lain baik sekali. Bahan ini banyak digunakan dalam cat untuk logam, perekat, pelapis dengan serat gelas,dsb. Pada pengawetan tak dihasilkan produk tambahan seperti air, dan penyusutan volume kurang. Kestabilan dimensinya baik. Sangat tahan terhadap zat kimia dan stabil terhadap banyak asam kecuali asam pengoksid yang kuat, dan asam alifatik rendah, alkali dan garam. Karena tak diserang oleh hampir semua pelarut, bahan ini baik digunakan sebagai bahan non-korosif.

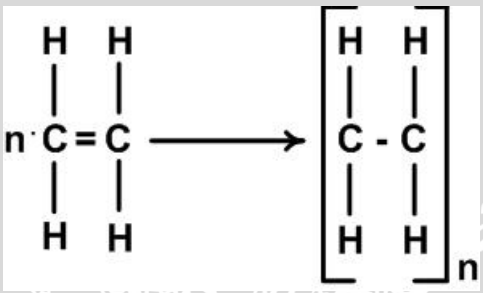
2. **Resin skloalifatik**

Bahan ini viskositasnya rendah dan ekivalensi epoksinya kecil. Bahan berguna sebagai pengencer bisfenol karena mudah penanganannya. Karena kaku dan rapuh, bahan terutama digunakan untuk alat isolasi listrik yang diperkuat dengan serat gelas. Ketahanan busur dan sifat anti alurnya baik.**(Surdia, 1985 : 259)**

2.3 Polyethylene

2.3.1 Pengertian

Polietilen merupakan salah satu jenis polimer termoplastik, yang mana akan menjadi lunak dan mudah dibentuk setelah dipanaskan. Hal ini merupakan karakteristik dari pembentukan polimer secara linier. (Shackelford, 1992: 445). Polimer ini merupakan parafin yang mempunyai berat molekul tinggi. Karena itu sifat-sifatnya serupa dengan parafin. Polietilen dibuat dengan jalan polimerisasi gas etilen, yang dapat diperoleh dengan memberi hidrogen gas petroleum pada pemecahan minyak (nafta), gas alam atau asetilen. Polimerisasi etilen ditunjukkan pada reaksi dibawah ini:



Gambar 2.2 Reaksi Polimerisasi Etilen
(Surdia, 1985 : 209)

Berdasarkan tekanan pada polimerisasinya, Polietilen digolongkan menjadi polietilen tekanan tinggi, tekanan medium dan tekanan rendah. Jika berdasarkan massa jenisnya masing-masing menjadi polietilen masa jenis rendah (LDPE) dengan masa jenis 0,910-0,926, polietilen masa jenis medium (MDPE) dengan masa jenis 0,926-0,940, polietilen masa jenis tinggi (HDPE) dengan masa jenis 0,941-0,965. Semua sifat-sifat pada polietilen erat hubunganya dengan masa jenisnya (cristalinitas). Termasuk polipropilen yang semua disebut poliefin. **(Surdia, 1985 : 209)**

2.3.2 Karakteristik

Polietilen terbakar kalau dinyalakan dan menjadi cair. Dengan cara polimerisasi etilen yang berbeda didapatkan struktur molekul yang berbeda pula. Pada polietilen massa jenis rendah, molekul-molekulnya tidak mengkristal secara baik tetapi mempunyai banyak cabang. Di pihak lain polietilen tekanan rendah kurang bercabang dan merupakan rantai lupus, karena itu masa jenisnya lebih

besar sebab mengkristal secara baik sehingga mempunyai kristailinitas tinggi. Karena cristal yang terbentuk mempunyai gaya antar molekul yang kuat, maka bahan ini memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan titik lunak yang tinggi pula. **(Surdia, 1985 : 209)**

2.3.3 Sifat Kimia

Polietilen adalah bahan polimer yang sifat-sifat kimianya cukup stabil tahan berbagai bahan kimia kecuali kalida dan oksida kuat. Ia larut dalam hidrokarbon aromatik dan larutan hidrokarbon yang terklorinasi diatas temperatur 70°C, tetapi tidak ada pelarut yang dapat melarutkan polietilen secara sempurna pada temperatur biasa. Karena bersifat non polar polietilen tidak mudah diolah dengan merekat dan mencap. Perlu perlakuan tambahan tertentu seperti oksidasi pada permukaan atau pengubahan struktur permukaannya oleh sinar elektron yang kuat. Kalau dipanasi tanpa menggunakan oksigen, hanya mencair sampai 300°C, kemudian terurai karena panas yang melampaui temperatur tersebut. Tetapi kalau dipanaskan dengan oksigen akan teroksidasi walaupun baru 50°C. Karena polietilen lemah terhadap sinar UV, bahan anti oksida seperti turunan naftilamin, atau bahan pengabsorb UV seperti serbuk karbon, besofenon, ester asam salisil, dicampurkan untuk memperbaiki katahanan UV, perlu menjadi perhatian karena polietilen akan retak di bawah pengaruh tegangan apabila berhubungan dengan berbagai surfuktan, minyak mineral, alkali, alcohol, dll. **(Surdia, 1985 : 211)**

2.3.4 Permeabilitas gas

Film polietilen sangat sukar ditembus air, tetapi mempunyai permeabilitas cukup tinggi terhadap CO_2, pelarut organik, parfum, dll. Polietien masa jenis tinggi kurang permeabel daripada polietilen dengan masa jenis rendah.

2.3.5 Polietilen perlakuan khusus

- **Polietilen dengan berat molekul rendah (1000-12000)**

Dapat diperoleh berbagai mutu mulai dari pelumas sampai bahan dengan titik cair 100°C tergantung pada massa jenis dan berat molekulnya. Selain itu juga dipergunakan untuk memperbaiki mampu cetak dengan mencampur atau dipakai untuk membuat kertas tahan air, kain tanpa tenunan, pelapis, dan lainnya, dengan jalan pelapisan. Dipakai juga untuk membebaskan cetakan, pemolisan, dsb.

- **Polietilen dengan berat molekul sangat tinggi (1-4 Juta)**

Bahan ini sukar untuk diolah karena kecairanya yang buruk, walaupun agak lunak dengan meningkatnya temperatur. Tetapi ia mempunyai ketahanan impak yang baik, ketahanan abrasif sangat baik, mempunyai sifat mekanik yang baik dan pemelaran yang kecil pada temperatur sekitar 100°C.

- **Polietilen berikatan silang**

Kalau secara antar molekul diikat silangkan oleh penyinaran sinar radioaktif dengan energi yang tinggi seperti dengan sinar elektron, sinar beta, sinar gama, dan seterusnya maka kekuatan tarik, ketahanan retak menjadi lebih baik dan titik lunaknya meningkat (250°C).

- **Polietilen busa**

Kalau polietilen diikat silangkan dan dibusakan, massa jenisnya bisa bervariasi. Maka bahan ini dapat dipergunakan untuk isolasi dan bahan akustik. Bahan busa rengah dipakai sebagai pengganti bahan kayu. **(Surdia, 1985 : 211)**

2.3.6 Mampu olah

Polietilen mudah diolah, maka dari itu sering dicetak dengan penekanan, injeksi, ekstrusi, peniupan dan dengan hampa udara. Perlu diperhatikan bahwa penyusutannya tinggi. **(Surdia, 1985 : 211-212)**

2.3.7 Sifat mekanis

Beberapa sifat mekanis dari polietilene dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Sifat mekanis	High-Density Polyethylene (HDPE)	Low-Density Polyethylene (LDPE)
Modulus Elastisitas (MPa)	830	170
Tensile Strength (MPa)	28	14
Elongation (%)	50 – 100	90 – 800
Kekuatan Impact (Joule)	1,4 – 1,6	22
K_{IC} (Mpa / $\sqrt{m}$)	2	1
Rockwell hardness	40	10

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Polietilene
Sumber : Shackelford, 1992 : 469

2.3.8 Penggunaan

Pada temperatur rendah bersifat fleksibel tahan impar dan tahan bahan kimia. Karena itu dipakai keperluan termasuk untuk pembuatan berbagai wadah, alat dapur, berbagai barang kecil, botol-botol, tempat minyak tanah, film, pipa, isolator kabel listrik, serat, kantong tempat sampah, dsb. **(Surdia, 1985 : 212)**

2.4 Material Pipa API 5L Grade *GRADE B*

2.4.1 Sifat Mekanis

Material pipa *API 5L GRADE B* memiliki *yield strength* minimum adalah 241 MPa, *ultimate tensile strength* minimum 414 MPa. Besarnya elongation didapatkan dengan pendekatan rumus seperti di bawah ini:

$$e = 1944\left[\frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}\right]$$

dimana :

e = elongation minimum pada 50,8 mm dalam persen

A = luasan spesimen yang diuji ($4.85cm^2$)

U = UTS minimum Psi (MPa)

(API Specification, 2004 : 37)

2.4.2 Komposisi kimia

Untuk komposisi kimia dari pipa *API 5L GRADE B* adalah:
carbon maksimum adalah 0,28%, mangane adalah 1.2%, pospor maksimum adalah 0,03%, sulfur maksimum 0,03%, titanium maksimum 0,04%, jumlah prosentase dari columbium(niobium), vanadium, dan titanium tidak melebihi 0,03%. **(API Specification, 2004 : 36)**

2.5 Lapisan Pada Pipa (*Coating Pipe*)

2.5.1 *Coal-tar enamel/asphalt* (bitumen)

Aspal yang telah mencair di tuang pada permukaan pipa sampai merata sepanjang pipa. Dimana sebelum dituangi aspal, permukaan pipa dilapisi dengan lapisan karet *butyl*. Kemudian yang terakhir adalah dengan lapisan *Kraft paper*, untuk memberi ketahanan terhadap sinar ultraviolet.

2.5.2 *Liquid coatings*

Yaitu melapisi pipa dengan epoxy cair. Lapisan ini dimaksudkan untuk memberi ketahanan permukaan pipa terhadap proses abrasi. Contoh di lapangan adalah saat pipa digunakan untuk pengeboran.

2.5.3 *Two-layer polyolefin*

Yaitu lapisan dengan *polyethylene* atau *polyprophilene* yang telah dipanasi dan dilewatkan sebuah *extruder* sehingga meleleh dan mebentuk *tape* atau lembaran yang akan melapisi permukaan pipa. *Polyprophilene* digunakan untuk memberi ketahanan terhadap temperatur yang tinggi dan untuk menahan beban mekanis.

2.5.4 *Three-layer polyolefin*

Yaitu proses pelapisan sama dengan 2-layer polyelefin hanya saja sebelum lapisan PE atau PP permukaan pipa terlebih dahulu diberi lapisan FBE (*Fusion Bonded Epoxy*)

2.5.5 *Polymeric tapes*

Merupakaan proses coating yang terdiri dari sebuah lapisan primer dan lapisan adesif. Lapisan primer ini terbuat dari HDPE (*High Density Polyethilene*) atau *Polyprophylene* sedangkan lapisan adesifnya sejenis karet *butyl* yang diikat dengan resin sintetik. Metode ini dapat dilakukan dengan proses dingin atau proses panas

2.5.6 *Heat shrinkable tapes*

Proses coating ini berisikan *polyethylene* dan termoplastik yang telah dipanasi kemudian dituang di permukaan pipa sampai merata.

2.5.7 FBE (*Fusion Bonded Epoxy*)

FBE memliki ketahanan listrik yang cukup pada pengujian katodik dengan arus yang kecil. Selain itu FBE juga memiliki permeabilitas kelembaban yang cukup tinggi sehingga akan menghasilkan coating yang baik. Dan ini berarti akan membantu proses pengeluaran oksigen terjebak saat proses coating sehingga dapat mencegah atau memperlambat proses korosi. (**Sumber: Kenneth B. Tator, P.E.)**

Proses coating *FBE* ada 2 macam:

1. ***FBE* tunggal, atau *multiple coat system*** merupakan proses coating FBE yang berisikan 100% serbuk termosetting. Ketika sprayer elektrostatik menyemprotkan serbuk FBE ke permukaan pipa yang telah dipanasi terlebih dahulu maka serbuk FBE akan meleleh, melekat pada permukaan pipa dan akan menjadi lapisan yang tahan lama. *Dual-layer FBE* merupakan sistem yang berisi dua formula *FBE* yang berbeda. Lapisan kedua biasanya memiliki ketahanan yang lebih baik. Selain itu juga memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi dan terhadap beban mekanis.
2. ***Three layer polyefin*** sama dengan *non-FBE-3-layer polyefin*, kecuali pada *FBE* primernya digunakan *epoxy* primer yang cair. Setelah itu digunakan sebuah *copolymer* atau terpolimer atau *maleic anhydrid* sebagai pengikat yang mana akan mengikat poliefin dengan *FBE*. Pelapisan Poliefin dapat berupa lembaran, serbuk, cair, atau extrusi. **(Roger Przybysz, 2001 : 5)**

2.6 Katodik Disbonding Test

Katodik disbonding adalah sebuah sistem pengujian yang memanfaatkan sifat elektrolisis dan sifat korosi dari unsur logam untuk benda-benda yang berbentuk vasel, seperti pipa saluran, tanki, dan lain-lain yang mana pada setiap benda tersebut digunakan di lapangan dan ditanam di bawah tanah. Sehingga untuk mencegah terjadinya kontaminasi atau korosi terhadap benda tersebut perlu adanya lapisan yang dapat melindungi permukaan dan bagian dalam dari benda tersebut. **(Roger Przybysz, 2001 : 5)**

Unsur-unsur utama katodik disbonding adalah spesimen (plat baja yang sudah dilapisi), cairan elektrolit, elektrode positif (anode), elektrode negatif (katode), arus listrik, voltase (potensial), dan temperatur. Sesuai dengan namanya maka pada katodik disbonding kutub negatif (katode) disambungkan dengan spesimen. Pada proses ini akan terjadi porses korosi pada bagian spesimen yang diuji. Hal ini terjadi akibat adanya beda potensial sehingga terjadi perpindahan elektron.

Karena beda potensial inilah maka akan banyak unsur H^+ yang lepas dan bereaksi kimia dengan larutan elektrolit. Larutan elektrolit disini digunakan untuk

mempercepat reaksi kimia sehingga akan menyebabkan spesimen lebih cepat terkorosi.

Dalam katodik disbonding terjadi beberapa reaksi kimia, yaitu reaksi reduksi oksigen akibat potensial dan pengujian dalam keadaan terkena udara terbuka pada anode (positif). Sedangkan pada katode terjadi kelebihan potensial negatif sehingga reaksi evolusi hidrogen lebih dominan. Dengan menerapkan potensial yang lebih tinggi, reaksi yang dominan akan menghasilkan gas hidrogen yang lebih banyak sehingga mekanisme kegagalan yang diamati adalah disebabkan oleh gas H_2 yang banyak terdapat dibawah lapisan adesifnya.

Ukuran dan bentuk dari celah mempengaruhi jumlah arus yang dibutuhkan dalam pengujian katodik disbonding. Celah yang dalam relatif terhadap diameternya akan menghasilkan katodik disbonding lebih kecil dibanding dengan celah yang memiliki diameter lebih besar tetapi tidak dalam.

Pemanasan yang bervariasi dapat menyebabkan katodik disbonding yang bervariasi pula. Spesimen yang dipanaskan mungkin menghasilkan transfer panas yang bervariasi antara *coupon* dan elektrolit yang telah dipanaskan. Secara umum, jika temperatur spesimen lebih tinggi dari temperatur elektrolit, korosinya cenderung lebih kecil dibanding dengan spesimen yang diuji menggunakan metode oven (yang mengikuti perpindahan panas yang konsisten dan seragam) dalam waktu pengujian yang sama. Hubungan pemanasan dengan kecepatan reaksi kimia yang terjadi pada cairan elektrolit dan spesimen adalah dengan meningkatnya temperatur pengujian maka akan meningkatkan kecepatan reaksi.

Setelah di atas dijelaskan tentang unsur-unsur utama dari pengujian katodik disbonding, pada paragraf ini akan dijelaskan mekanisme terkorosinya spesimen akibat reaksi yang terjadi. Proses katodik disbonding mengorbankan kutub positif (anode) untuk menunjang terjadinya proses korosi. Jika dalam proses katodik disbonding diterapkan overvoltase maka akan mengakibatkan pengkorosian berlangsung terus-menerus. Bahkan tanpa diterapkan overvoltase, proses katodik disbonding tetap akan menghasilkan peningkatan pH (terjadi peningkatan jumlah ion H^+ pada katode) sebagai hasil dari reksi reduksi. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi saat porses katodik disbonding berlangsung:

1. $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$
2. $H_2O + ½\ O_2 + 2e^- \longrightarrow 2OH^-$
3. $Fe_2O_3 + 3H_2O + 2e^- \longrightarrow 2Fe(OH)_2 + 2OH^-$
4. $H_2O + e^- \longrightarrow 1/2\ H_2 + OH^-$

(**Sumber: Kenneth B. Tator, P.E. "Qualification Testing Of Fusion Bonded Epoxy Coatings For Pipeline Exteriors")**

2.7 Korosi

2.7.1 Pengertian

Merupakan bentuk kerusakan pada suatu material akibat bereaksi dengan lingkungannya. Pada umumnya istilah korosi identik dengan logam, tetapi saat ini korosi tidak lagi hanya pada logam, kerusakan suatu material nonmetal akibat bereaksi dengan lingkungannya juga dapat dikatakan korosi. Sesungguhnya semua lingkungan bersifat korosif. Sebagai contoh adalah udara dan kelembaban ; udara segar, hasil destilasi, garam, dan air mineral; udara pedesaan dan perkotaan serta udara industri ; uap dan gas seperti klor, amonia, hodrogen sulfida, sulfur dioksid, dan gas hasil bahan bakar ; asam mineral; hidrokolik, sulfurik, dan nitric ; asam organik seperti napthenic, acetic, dan formic ; alakali ; tanah ; pelarut ; minyak sayur dan minyak ptroleum ; dan berbagai macam hasil makanan. Secara umum material inorganik lebih korosif dibanding dengan organik. Saat ini banyak industri yang menerapkan paramaeter tekanan dan temperatur yang tinggi untuk berlangsungnya produksi, akan tetapi penerapan temperatur dan tekanan yang tinggi malah menyebabkan kondisi lingkungan yang mudah mengkorosi.

2.7.2 Jenis korosi

Ada beberapa pendapat dalam mengelompokkan jenis dari korosi, salah satu metode membagi korosi menjadi 2 jenis yaitu korosi temperatur tinggi dan korosi temperatur rendah. Ada lagi yang mengelompokkan sebagai korosi oksidasi dan korosi elektrokimia. Akan tetapi yang lebih ditekankan adalah jenis korosi basah (*wet corrsion*) dan korosi kering (*dry corrsion*).

Wet corrsion terjadi ketika ada larutan yang mengenahi material sehingga terjadi korosi. Biasanya larutan ini berupa larutan elektrolit. Contoh sederhana dari *wet corrsion* adalah korosi baja akibat terkena air. Sedangkan *dry corrsion*

terjadi tanpa melibatkan cairan yang menyebabkan korosi. Atau korosi terjadi pada material akibat pengaruh temperatur yang besarnya diatas *dew point* dari lingkungan. Uap panas dan gas biasanya merupakan unsur yang mengkorosi. *Dry corrsion* seringkali identik dengan temperatur tinggi, sebagai contoh adalah korosi pada baja akibat pengaruh gas dari dapur peleburan.

2.7.3 Bentuk-bentuk korosi

Setelah dari paragraf diatas dejelaskan tentang jenis dari korosi berikut ini akan dijelaskan mengenahi bentuk-bentuk dari korosi. Adapun bentuk-bentuk korosi adalah:

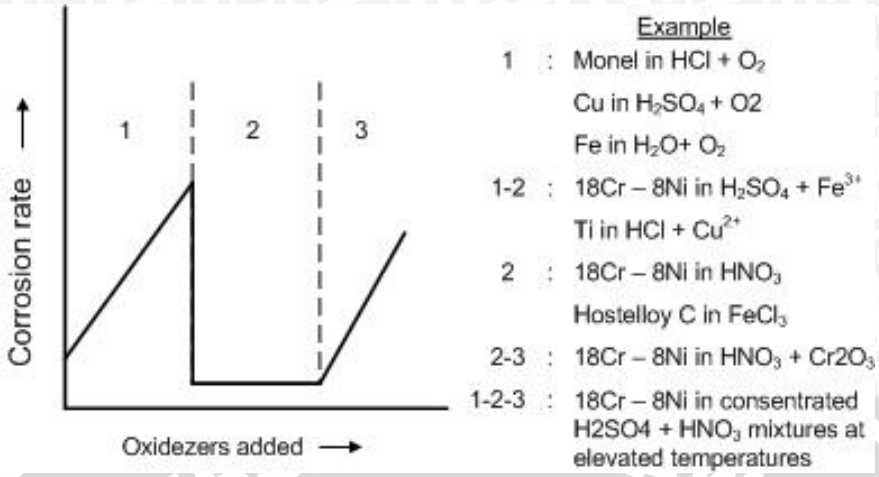
1. *Uniform attack/general attack* (korosi menyeluruh)
2. *Galvanic/two-metal corrosion*
3. *Crevice corrosion* (korosi celah)
4. *Pitting* (korosi lubang)
5. *Intergranular corrosion* (korosi butiran)
6. *Selective leaching* (korosi leleh)
7. *Erosion corrosion* (pengikisan)
8. *Stress corrosion* (korosi tegangan)

2.7.4 Hal-hal yang mempengaruhi korosi

Korosi terhadap suatu material dapat berlangsung cepat atau lambat, tergantung dari pengaruh lingkungan penyebab korosi terhadap material. Beberapa faktor tersebut yaitu:

1. **Pengaruh oksigen dan unsur pengoksidasi (*oxidizers*).**

Gambaran pengaruh *oxidizers* dapat dilihat pada grafik 2.1 tentang hubungan penambahan unsur pengoksidasi terhadap laju korosi pada suatu metal.



Gambar 2.3 Pengaruh penambahan *oxidizers* terhadap jumlah korosi

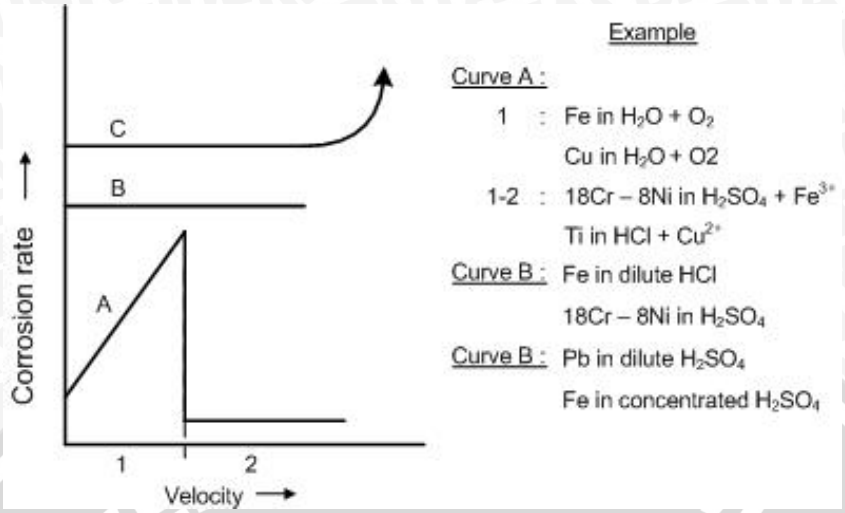
Peningkatan jumlah korosi akibat peningkatan kosentrasi unsur pengoksidasi ditunjukkan pada bagian 1, dimana pada bagian grafik tersebut menunjukkan karakteristik dari Monel dan Copper yang berada dalam lingkungan asam yang mengandung oksigen. Bagian 1 tersebut mengindikasikan bahwa logam masih aktif. Sedangkan pada bagian 2 dari grafik menunjukkan logam sedang pasif, artinya penambahan *oxidizers* tidak lagi berpengaruh terhadap laju korosi.

Dari grafik bisa kita dapatkan bahwa pengaruh penambahan *oxidizers* tergantung dari logam dan penambahan *oxidizers* pada tingkatan medium. Laju korosi dapat meningkat akibat penambahan *oxidizers*, tapi bisa juga sebaliknya, penambahan *oxidizers* tidak mempengaruhi laju korosi.

Dengan mengetahui karakteristik dari logam atau paduan dan lingkungan kita akan dapat memprediksi seberapa jauh pengaruh penambahan *oxidizers* terhadap laju korosi.

2. Pengaruh kecepatan korosi.

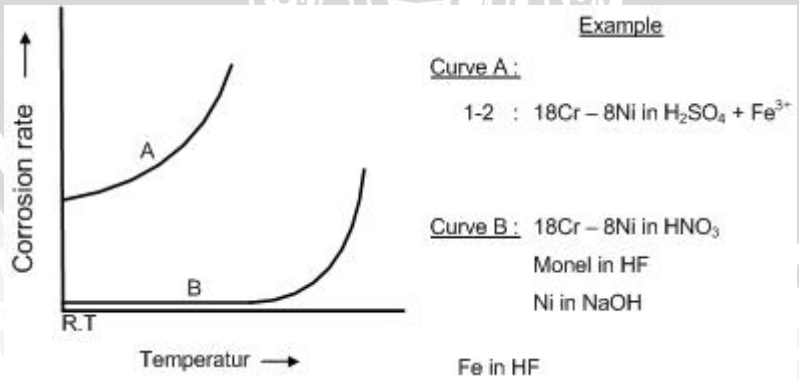
Faktor kecepatan korosi sama halnya dengan pengaruh penambahan *oxidizers* terhadap laju korosi, yaitu untuk mengetahui pengaruhnya maka kita harus mengetahui karakteristik dari logam dan lingkungannya. Hubungan keduanya dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Pengaruh kecepatan korosi terhadap jumlah korosi

3. Pengaruh temperatur.

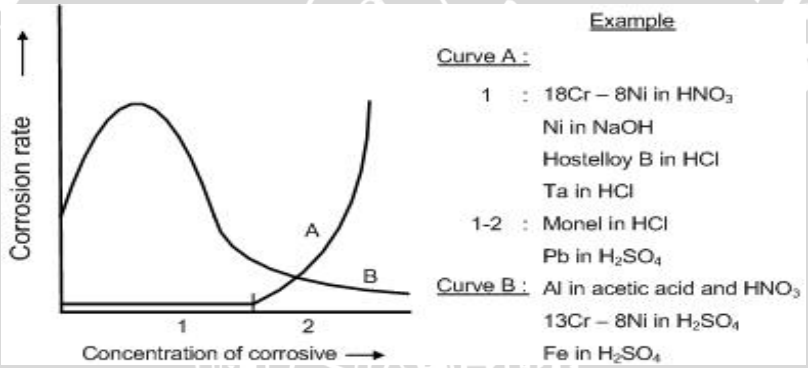
Peningkatan temperatur hampir selalu meningkatkan semua reaksi kimia. Dari gambar 2.5 dapat kita lihat bahwa laju korosi meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur (grafik A). akan tetapi tidak semua material logam seperti itu, ada juga peningkatan laju korosi baru meningkat setelah temperatur dinaikkan pada tingkatan medium (grafik B), contohnya adalah 18-8 stainless steel dalam larutan asam nitric, dapat kita baca bahwa peningkatan yang besar pada temperatur larutan akan meningkatkan daya oksidasi. Dan selanjutnya peningkatan daya oksidasi dari larutan akibat peningkatan yang besar oleh temperatur akan menghasilkan jumlah korosi yang besar pula.



Gambar 2.5 Grafik pengaruh temperatur terhadap jumlah korosi

4. Pengaruh kosentrasi zat pengkorosi.

Dari gambar 2.6 dapat kita lihat bahwa kenaikan kosentrasi zat pengkorosi akan meningkatkan laju korosi pada logam. Hal utama yang menjadi penyebab adalah jumlah dari ion hidrogen, yang mana ion ini merupakan jenis ion aktif. Peningkatan jumlah ion ini akan meningkatkan kosentrasi asam dalam larutan dan menyebabkan jumlah korosi meningkat sampai pada titik maksimum kemudian menurun sampai titik terendah. Menurunya kembali laju korosi setelah titik maksimum disebabkan ionisasi berkurang dan ini tidak diragukan lagi. Karena alasan inilah beberapa asam yang biasa dipakai sekarang seperti sulfur, acetic, hidrofuoric, dll secara nyata akan bersifat inert (tidak ikut bereaksi) dalam kondisi murni, atau kosentrasi 100%, dan pada temperatur medium.

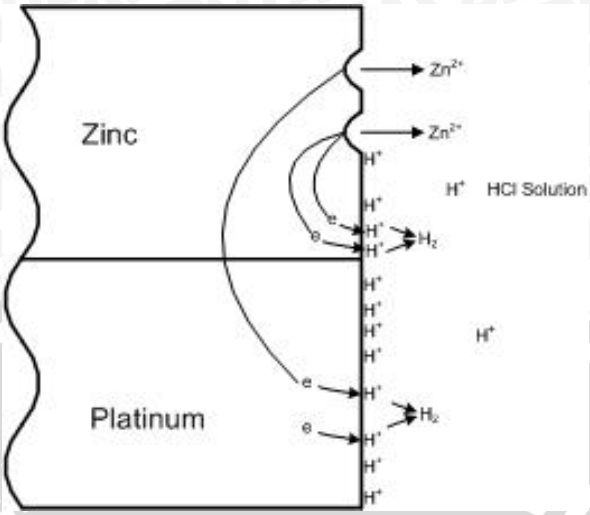


Gambar 2.6 Grafik pengaruh kosentrasi zat pengkorosi terhadap jumlah korosi

5. Pengaruh *galvanic coupling*

Penjelasan mengenahi hubungan antara *galvanic coupling* dengan laju korosi dapat dilihat pada gambar 2.7. Pada gambar tersebut dicontohkan logam seng (Zn) yang dicelupkan dalam larutan asam hidrokolik (HCl) dan mengalami kontak dengan logam Platinum yang bersifat inert. Dari gambar dapat dijelaskan bahwa ion hidrogen banyak terdapat pada permukaan logam platinum.

Selanjutnya, semakin banyak ion hidrogen yang terbentuk maka semakin banyak yang menempel pada permukaan platinum dan akhirnya Zn mulai terkorosi dan akan terus terkorosi. Kejadian ini merupakan reaksi redok, dimana Zn teroksidasi (melepas elektron), dan platinum mengalami reduksi (menerima elektron). Semakin banyak konsumsi elektron pada platinum semakin banyak pula Zn yang terkorosi.



Gambar 2.7 Grafik pengaruh *galvanic coupling* terhadap jumlah korosi

2.8 Hipotesis

Dengan semakin bertambahnya temperatur suatu larutan elektrolit akan menigkatkan daya oksidasi (*oxidizing power*) dari larutan. Sehingga akan menghasilkan laju korosi yang besar pula dan ini akan menyebabkan jumlah material yang terkorosi bertambah banyak.

BAB III
Metodologi Penelitian

3.1. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah jenis penelitian eksperimental sejati (*True Experimental Research*). Kajian literatur dan berbagai sumber dari buku maupun jurnal digunakan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2. Tempat dan waktu

Untuk mendapatkan data dari hasil pengujian, maka pengujian katodik disbonding dilakukan di laboratorium Kimia Analitik Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang dimulai tanggal 26 Februari 2007 sampai 10 Maret 2007.

3.3 Bahan dan Alat

3.3.1 Bahan :

Bahan yang digunakan dalam penelitihan ini adalah material pipa *API 5L Grade B* yang telah dilapisi *three-layer coating poletilen* dengan dimensi 100 mm X 100 mm. Adapun bahan dari lapisan *three-layer poletilen* adalah sebagai berikut:

1. *Epoxy powder*:
   a) Merk : Nap-Gard 7-2806
   b) Warna : Reddish Brown
   c) Specific gravity : 1,45 ± 0,03
   d) Density : 1445 ± 50 gram/L
   e) Thermal characteristic: $T_{g1} = 59 \pm 5^oC$
      $T_{g2} = 104 \pm 6^oC$
      $\Delta H = 60 \pm 10$ J/gram
   f) Typical gel time at 205°C CSA ± 20% :
      Fast gel : 10 second
      Medium gel : 16 second
      Long gel : 24 second

g) Shelf life at 25°C : 9 month

Prosedur yang harus dilakukan adalah:

1. Shot blasting pada permukaan pipa dengan mengacu standar Swedish Sa 2½ dan profilnya antara 50 – 112 µm.
2. Lakukan pemanasan awal pada permukaan pipa pada temperatur yang dianjurkan (± 200°C).
3. Spraying epoxy powder pada permukaan pipa yang telah dipanasi sampai batas ketebalan yang telah dianjurakan.
4. Selanjutnya memberi lapisan adhesif setelah proses pelapisan FBE tadi.
5. Setelah mengeras kemudian lapisan PE diberikan diatas dua lapisan sebelumnya tadi (200°C:100-150 detik ; 232°C:60-90 detik).

2. *Adhesive*

Merupakan lapisan perekat antara lapisan FBE dengan Polyethylene. Warna lapisan ini adalah putih bening. Tebal lapisan ini lebih tipis dari ke-dua lapisan yang lain. Spesifikasi dari lapisan ini adalah:

a) Merk : Fusabond E MB 158DH
b) Density : 0,933 g/mL
c) Melt index : 1,7 g/10min
d) Tensile, 50 mm/min:
   - Yield : 14 MPa
   - Ultimate : 24 MPa
   - Elongation at break at 23°C : >600%
   - Young's modulus : 471MPa
e) Tensile impact at 20°C : 9,6 J/cm^2
f) Vicat softening point :104°C
g) Melting point :128 °C
h) Hardness, shore : D 56
i) Oxidation Induction time : 20 menit
j) Cold temp. britleness : <-70 °C

k) ESCR : > 1000 hrs
l) Flexural modulus : 249 MPa
m) Lap shear at 23 ^{o}C : 1644 Psi
n) Water absorption after 24 hrs : 0,006 %
o) MVTR : 0,924 gm-mil/100in^2/day
p) Service temperatur : max 85°C, min -40°C
q) Storage condition : min -40°C, max 85°C, RH < 50%

3. *Polyethylene*

Merupakan lapisan terakhir dari lapisan *Three-Layer polyethylene* yang merupakan lapisan yang berguna untuk menahan beban mekanis. Warna lapaisan ini adalah hitam. Tebalnya merupakan lapisan paling tebal dari susunan *Three-Layer polyethylene*. Spesifikasi dari lapisan ini adalah:

a) Merk : Borstar HE3450
b) Density : 942 Kg/m^3
c) Melt flow rate (190°C/2,16Kg: 0,5 g/10min
Melt flow rate (190°C/5,00Kg: 2,0 g/10min
d) Tensile strength : >26 MPa
e) Tensile strain at break : >600%
f) Vicat softening point :120°C
g) Melting point :128 ^{o}C
h) Hardness, shore D : D 60
i) Carbon black content : ≥ 2%
j) Cold temp. britleness : <-82°C
k) ESCR : > 5000 hrs
l) DC volume resisivity : 10^{10} Ωcm
m) Dielectric strength : 1644 Psi
n) Water absorption after 24 hrs : > 30 kV/mm
o) Melting temperatur : 128°C

3.3.2 Peralatan Penelitian :

1. *Power supply* DC dengan *voltage out put* yang bisa diatur.

   Merupakan peralatan elektronik yang akan menyediakan tegangan listrik DC untuk memenuhi syarat dari pengujian, yaitu sebesar 3,5 Volt.

2. Digital multimeter.

   Merupakan indikator yang dapat menunjukkan besarnya tegangan yang terjadi pada saat pengujian berlangsung sehingga kita dapat mengontrol voltasenya.

3. Pemanas(*hot plate*) yang bisa dikontrol.

   Adalah alat yang akan menimbulkan panas sehingga memenuhi besarnya temperatur pengujian yang diinginkan. Pemanas yang digunakan memiliki batasan kemampuan kurang dari 100°C.

4. *Calomel reference electrode (mercorous chloride elektrode).*

   Yaitu suatu elektrode yang memilki potensial tetap. Dimana elektrode ini digunakan sebagai elektrode pembanding dari sistem elektrolisis yang digunakan pada saat pengujian.

5. Kawat platina atau elektrode karbon.

   Elektrode ini digunakan sebagai elektrode inert yang tidak ikut bereaksi tetapi membantu terjadinya beda potensial. Ditambah adanya larutan elektrolit menyebabkan terjadinya reaksi elektrokimia.

6. Tabung plastik / pipa PVC dengan diameter dalam 75 ± 3 mm (3 inch).

   Tabung ini digunakan untuk tempat terjadinya reaksi elektrokimia, dimana didalamnya terdapat elektrode karbon, larutan elektrolit, dan menempel pada bahan uji. Dan dalam pengujian ini tabung dibuat untuk dapat menampung larutan sebanyak 300 mL larutan.

7. Larutan NaCl dalam aquades dengan perbandingan 9gram NaCl : 300 gram aquades. Dengan berat jenis aquades sebesar 1gr/mL maka 300gram air setara dengan 300mL aquades.

8. *Wire brush* (sikat baja).

Alat digunakan untuk membersihkan bagian spesimen yang masih terdapat bekas potongan las. Sehinga tidak melukai tangan ketika sedang menyiapkan dan merangkai alat dan bahan pengujian.

9. Pisau tata.

Digunakan untuk mengumpil/melepas lapisan polietilen dan untuk membuat jari-jari pada lubang pada bahan uji sehingga kita dapat mengetahui radius korosi yang terjadi pada lapisan FBE dari susunan *three-layer polyethylene*.

10. *Needle-nose plier*.

Alat ini digunakan untuk menghubungkan tegangan listrik dengan kutub yang tersambung pada spesimen dan elektrode karbon. Cara menggunakan adalah dengan menjempitkan salah satu sisinya dengan kutub yang ada pada power supply dan sisi yang lain dengan kutub pada spesimen serta elektrode karbon.

11. *Silicon red* atau *seal silicon*.

Bahan ini digunakan untuk menempelkan tabung/PVC pada permukaan spesimen agar tidak terlepas. Selain itu bahan ini digunakan agar larutan tidak bocor melewati celah-celah antara spesimen dengan tabung reaksi.

3.4. Variabel

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah temperatur sebesar 25°C, 45°C, 65°C, 85°C, 95°C.

b. Variabel terikat

Variabel ini dipengaruhi oleh variabel lain, variabel ini disebut juga variabel tergantung. Variabel terikat dalam penulisan ini adalah radius korosi pada lapisan *FBE*.

Pengertian radius korosi adalah bagian FBE disekitar lubang pada bahan uji yang terkelupas setelah diuji katodik disbonding. Nilai yang diambil adalah lebar bagian yang terkelupas, yaitu jarak dari diameter dalam lubang sampai diameter luar lubang. Dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah.

c. Variabel terkendali

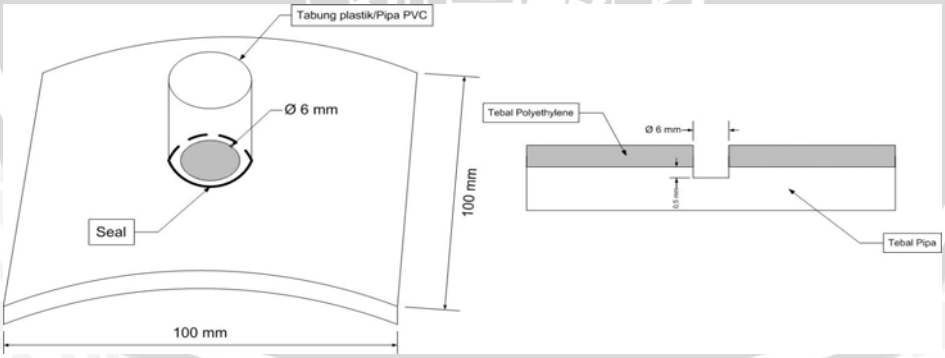
Variabel terkendali dalam penelitian ini adalah voltase (3,5 Volt).

3.5. Prosedur dan Metode Pengujian

Langkah pertama adalah, spesimen uji diambil dari pipa yang telah dilapisi *Three-Layer Polyehylene* sebagai sampel dalam pengujian katodik disbonding dengan ukuran 100 mm x 100 mm x tebal pipa coating.

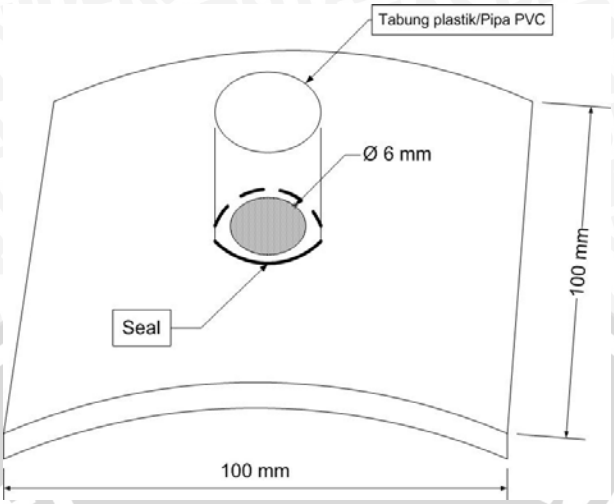
Kemudian sebelum dirangkai dalam pengujian katodik disbonding spesimen harus diuji dulu dengan *holiday detector* untuk mengetahui ada/tidaknya kebocoran pada lapisan *Three-Layer Polyehylene*. Pengujian ini dilakukan pada tegangan minimum 1800 volt.

Setelah itu spesimen dilubangi dengan diameter 6 mm hingga tembus lapisan dan sedikit menembus tebal base metal. Gambar spesimen yang telah dilubangi dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Spesimen yang sudah dilubangi

Tabung plastik/pipa PVC yang telah dibuat sedemikian rupa (gambar 3.2) ditempatkan di atas lubang bor yang ada di spesimen tadi kemudian diberi *seal* agar larutan tidak bocor. *Seal* yang dipakai adalah sejenis silicon yang biasa dipakai untuk membuat akuarium.



Gambar.3.2 Spesimen dengan tabung plastik

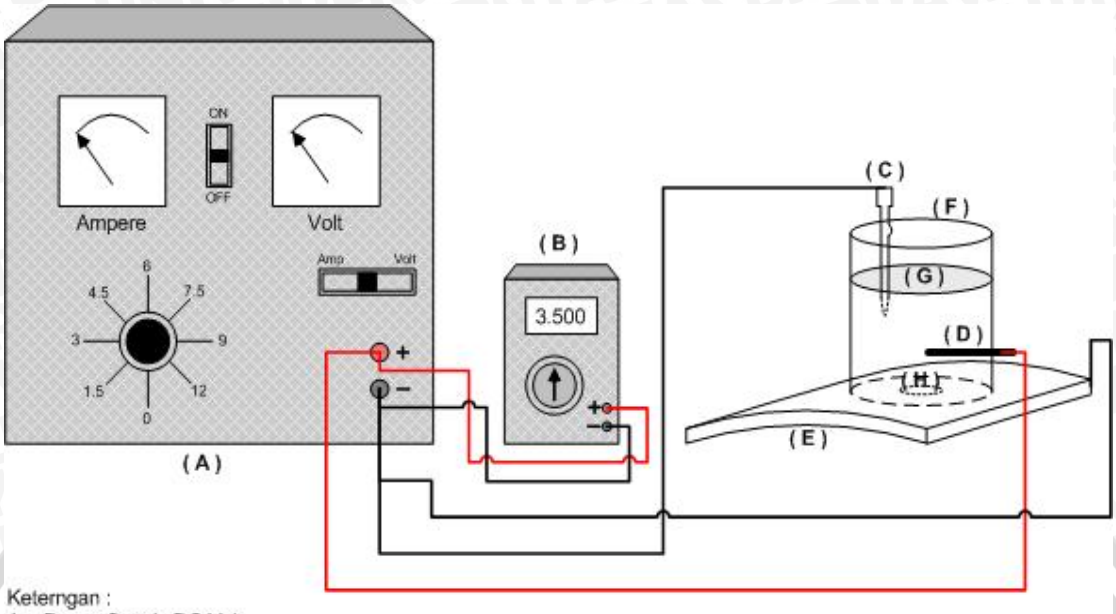
Langkah selanjutnya adalah larutan NaCl 3% minimum 300 ml diisikan ke dalam tabung plastik / pipa PVC dan tandai level / ketinggian larutannya.

Kemudian kawat platina atau elektrode karbon dimasukkan ke dalam larutan NaCl tersebut dan disambungkan dengan kutub positif dari power supply DC. Berlawanan dengan kawat platina atau elektrode karbon, kutub negatif dari power supply DC disambungkan dengan spesimen dan elektrode *reference*.

Gunakan multimeter, kutub positif mengenai elektrode platina atau karbon dan kutub negatif ke spesimen uji dan temperatur dijaga agar konstan sesuai kondisi yang diberikan pada tabel 3.1 :

1. 3,5 V, 25°C sampai 24 jam.
2. 3,5 V, 45°C sampai 24 jam.
3. 3,5 V, 65°C sampai 24 jam.
4. 3,5 V, 85°C sampai 24 jam.
5. 3,5 V, 95°C sampai 24 jam.

kondisi level larutan juga harus dijaga dengan cara menambahkan larutan NaCl 3% sebagaimana diminta.



Keterngan :
A = Power Supply DC Volt
B = Multimeter
C = *Calomel Electrode Reference*
D = Elektrode Karbon
E = Bahan Uji
F = Pipa PVC (tabung reaksi)
G = Larutan NaCl 3% 300 mL
H = Lubang bahan uji

Gambar 3.3 Skema pengujian katodik disbonding

Data diambil setelah mencapai waktu yang telah ditentukan (selama 24 jam) kemudian diukur radius korosi yang telah dicapai. Setelah pengujian selesai dilakukan, bongkar/lepas sel-sel uji dan barulah melakukan evaluasi terhadap karakteristik *cathodic disbonding*.

Gambar 3.4 Bahan uji yang telah diuji katodik disbonding

Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan maka pengujian pada tiap temperatur diulang sebanyak empat kali, kemudian baru dirata-rata untuk mendapatkan nilai yang akan dianalisa dalam analisa varian.

3.6 Rancangan Penelitian

3.6.1 Analisa statistik

Rancangan penelitian merupakan salah satu cara yang bisa menentukan tingkat validitas sebuah percobaan dan data hasil percobaan.. Agar hasil atau data yang diperoleh memiliki validitas tinggi dan berguna untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi maka dibutuhkan rancangan penelitian (*experimental design*) yang tepat.

Rancangan penelitian yang dipergunakan dalam penelitian kali ini adalah model rancangan acak lengkap (RAL) klasifikasi satu arah dengan pengulangan sebanyak 4 kali, dimana terdapat satu faktor yang diamati yaitu radius korosi pada lapisan *three-layer polyethylene* setelah diuji dengan katodik disbonding. Analisis statistik yang dipakai adalah analisis statistik varian satu arah yang bertujuan untuk menduga perubahan rata-rata pada nilai radius korosi akibat dari perubahan temperatur pengujian. Hasil pengujian ditabelkan sebagai berikut:

Temperatur pengujian katodik disbonding	Radius korosi			
	1	2	3	4
25°C	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}
45°C	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{24}
65°C	y_{31}	y_{32}	y_{33}	y_{34}
85°C	y_{41}	y_{42}	y_{43}	y_{44}
95°C	y_{51}	y_{52}	y_{53}	y_{54}

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian Radius Korosi Akibat Uji Katodik Disbonding

Keterangan : Nilai Yij adalah nilai rata-rata radius korosi yang diambil selama pengujian berlangsung.

3.6.2 Analisa Varian Satu Arah

Analisa varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh temperatur pengujian katodik disbonding terhadap radius korosi lapisan *Three-layer Polyetylene* pipa *API 5L Grade B*. Harga variabel terikat dianggap

sebagai μ_1, μ_2, μ_3, μ_4, μ_5, sehingga hipotesa penelitian dapat ditulis sebagai berikut:

1. $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (temperatur pengujian katodik disbonding tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap radius korosi)
2. $H_0 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ (temperatur pengujian katodik disbonding memberikan pengaruh yang nyata terhadap radius korosi)

Rumus-rumus yang digunakan dalam analisis varian satu arah ini adalah:

1. Jumlah Seluruh Perlakuan

$$\sum_{Total} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij} \quad \text{.....(3-6)}$$

2. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}^{\,2} - \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}\right]^2}{\sum n_i} \quad \text{.....(3-7)}$$

3. Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}\right]^2}{\sum n_i} \quad \text{.....(3-8)}$$

4. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^{k}\left[\sum_{i=1}^{n} y_{ij}\right]^2}{n_i} - FK \quad \text{.....(3-10)}$$

5. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \quad \text{.....(3-11)}$$

6. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \quad \text{.....(3-12)}$$

7. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} \quad \text{.....(3-13)}$$

Dari rumus diatas dapat dicari F_{hitung}, yang berguna untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat dengan metode uji F :

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \quad \text{..... (3-14)}$$

Untuk keperluan penyerdahanaan analisis, maka dibuat tabel seperti berikut :

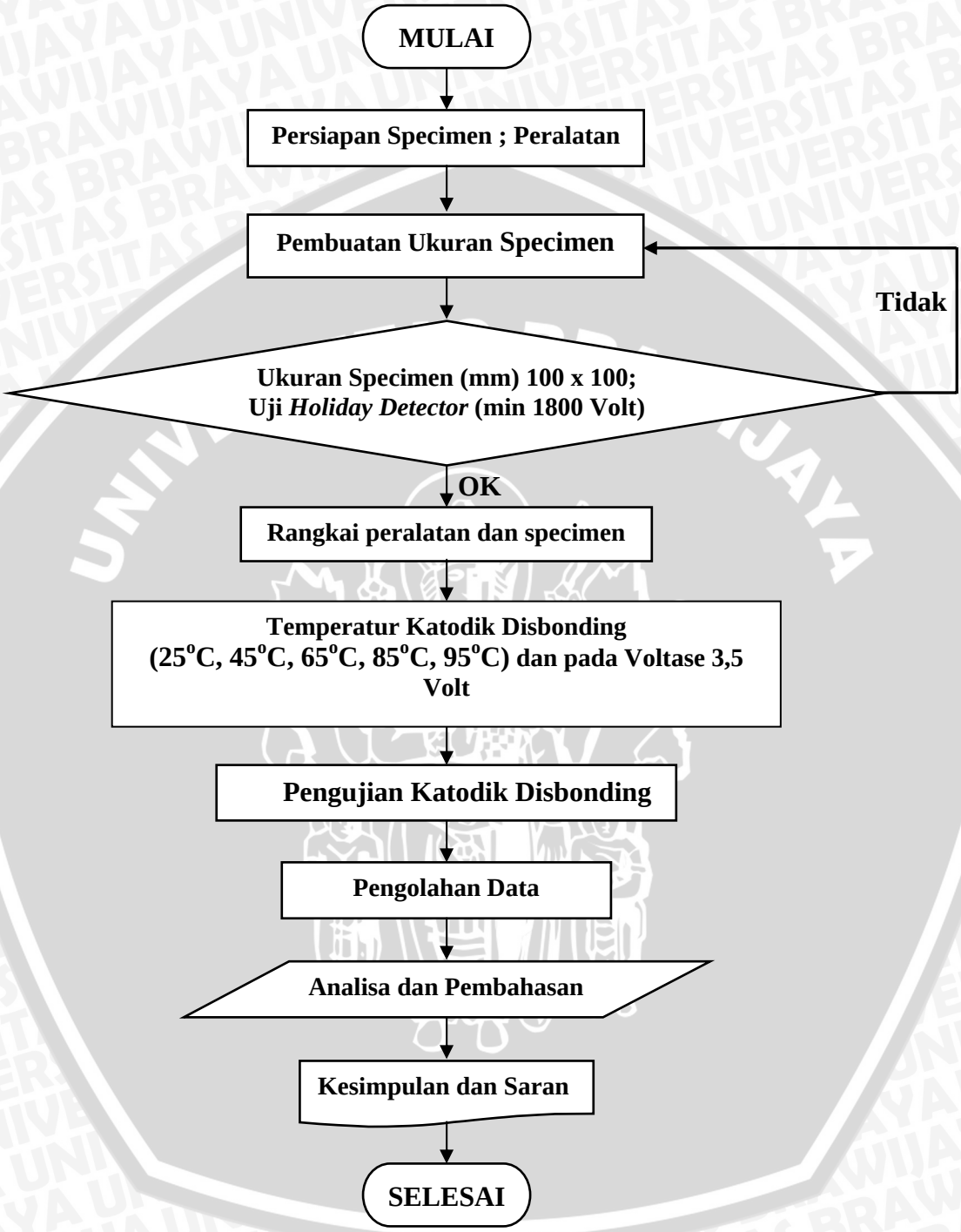
Sumber kevarianan	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Kuadrat rata-rata	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	k-1	JKP	KTP	F_{hitung}	$F(\alpha, v_1, v_2)$
Galat	k(n-1)	JKG	KTG		
Total	nk-1	JKT			

Tabel 3.2 Analisis Varian Satu Arah

Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} :

1. Jika $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 ditolak, menyatakan bahwa ada perbedaan, yang berarti temperatur(^oC) berpengaruh terhadap radius korosi(mm) lapisan *Three-layer Polyetylene*.
2. Jika $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$ berarti H_0 diterima, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan, yang berarti temperatur(^oC) tidak berpengaruh terhadap radius korosi(mm) lapisan *Three-layer Polyetylen*.

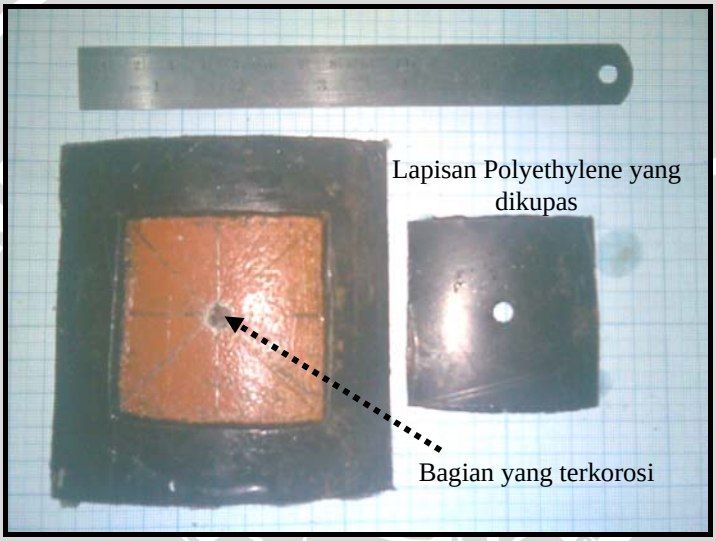
3.7 Diagram Alir



BAB IV
DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Data hasil pengujian

Untuk mengetahui besarnya radius korosi spesimen setelah pengujian katodik disbonding, maka dilakukan pengamatan dengan cara mengupas lapisan *polyethylene* spesimen seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.1 Bagian-bagian yang diamati dari bahan uji

Dengan variasi temperatur dalam pengujian katodik disbonding diperoleh data radius korosi masing-masing spesimen seperti yang terlihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data hasil uji katodik disbonding

	Pengulangan	Temperatur pengujian					Jumlah
		25°C	45°C	65°C	85°C	95°C	
Radius korosi (mm)	1	1,35625	1,6125	1,9	3,03125	2,14375	10,04375
	2	1,25	1,41875	1,85625	2,11875	1,83125	8,475
	3	1,35625	2,0125	1,89375	1,625	2,4	9,2875
	4	1,18125	1,65	1,93125	1,85625	2,275	8,89375
Jumlah		5,14375	6,69375	7,58125	8,63125	8,65	36,7
Rata-rata Perlakuan		1,285938	1,673438	1,895313	2,157813	2,1625	
Rata-rata total		1,835					

Dari data diatas kemudian dilakukan analisa statistik yaitu analisa varian satu arah untuk mengetahui keyakinan ada-tidaknya pengaruh temperatur terhadap radius korosi.

4.2. Analisa varian

Didalam analisa varian satu arah kita gunakan hipotesa sebagai berikut:

1. H_{01} : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$ (tidak ada pengaruh yang nyata temperatur terhadap radius korosi).
2. H_{11} : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$ (ada pengaruh yang nyata temperatur terhadap radius korosi).

Hipotesa pertama (H_{01}) diterima jika nilai F_{hitung} lebih kecil daripada F_{tabel}. Dan hipotesa ke-dua (H_{11}) diterima jika nilai F_{hitung} lebih besar daripada F_{tabel}. Artinya apabila nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji berpengaruh terhadap hasil uji. Namun apabila F_{hitung} labih kecil dari F_{tabel} berarti faktor yang diuji tidak berpengaruh terhadap hasil uji.

Untuk mengetahui apakah nilai F_{hitung} lebih besar atau lebih kecil daripada F_{tabel} maka dilakukan perhitungan statistik dengan faktor Y adalah pengaruh temperatur terhadap radius korosi, yaitu sebagai berikut :

Kriteria pengujian:

$\alpha = 0{,}05$; $k = 5$; $n = 4$

$v_1 = k - 1 = 5 - 1 = 4$

$v_2 = (n - 1).k = (4 - 1).5 = 15$

Batas uji F (0,05;4;15) = 3,06

1. Jumlah Seluruh Perlakuan

$$\sum_{Total} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij} = 1{,}35625 + 1{,}25 + 1{,}35625 + 1{,}18125 + ... + 2{,}275 = 36{,}7$$

2. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}^{\,2} - \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}\right]^2}{\sum n_i}$$

$$JKT = \left(1{,}35625^2 + 1{,}25^2 + 1{,}35625^2 + 1{,}18125^2 + ... + 2{,}275^2\right) - \frac{(36{,}7)^2}{20}$$

$$JKT = 71{,}04266 - \frac{1346{,}89}{20} = 71{,}04266 - 67{,}3445 = 3{,}698156$$

3. Faktor Koreksi (FK)

$$FK = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} y_{ij}\right]^2}{\sum n_i} = \frac{(34{,}6)^2}{20} = 67{,}3445$$

4. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^{k}\left[\sum_{i=1}^{n} y_{ij}\right]^2}{n_i} - FK$$

$$JKP = \frac{(5{,}14375)^2 + (6{,}69375)^2 + (7{,}58125)^2 + (8{,}63125)^2 + (8{,}65)^2}{4} - 67{,}3445$$

$$JKP = \frac{26{,}45816 + 44{,}806289 + 57{,}47535 + 74{,}19848 + 74{,}8225}{4} - 67{,}3445$$

$$JKP = \frac{278{,}0608}{4} - 67{,}3445 = 69{,}5152 - 67{,}3445 = 2{,}170695$$

5. Jumlah Kuadrat Galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP = 3{,}698156 - 2{,}170695 = 1{,}527461$$

6. Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} = \frac{2{,}170695}{5-1} = 0{,}542674$$

7. Kuadrat Tengah Galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{k(n-1)} = \frac{1{,}527461}{5(4-1)} = 0{,}101831$$

Untuk faktor Y : $F_{YHitung} = \frac{KTP}{KTG} = \frac{0{,}542674}{0{,}101831} = 5{,}329175$

Dari perhitungan statistik dibuat tabel *analisis of varian* (anova) sebagai berikut :

Tabel 4.2. Analisa varian satu arah

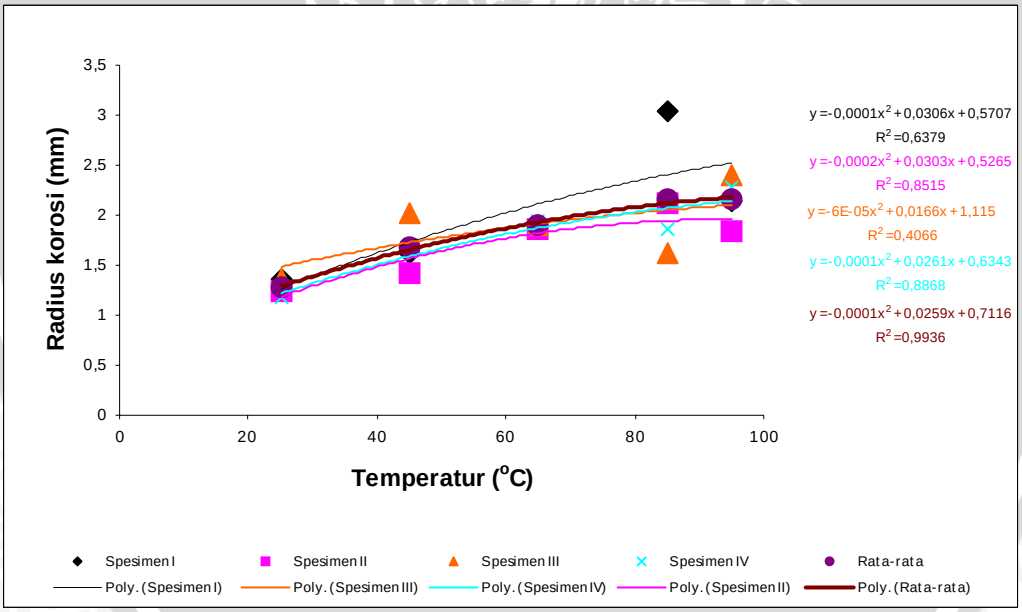
Sumber Keragaman	Db	JK	KT	F_{hitung}	F_{tabel} ($\alpha = 5\%$)
Temperatur	4	1,13575	0,542674	5,329175	3,06
Galat	15	1,657344	0,101831	-	-
Total	19	2,793094	-	-	-

Berdasarkan tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai F_{Hitung} lebih besar dari F_{tabel} (5,329175 > 3,06) ini berarti H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, artinya ada perbedaan yang nyata tentang radius korosi yang dihasilkan tiap temperatur dengan resiko kesalahan 5%.

Setelah kita mengetahui bahwa temperatur berpengaruh terhadap radius korosi dengan keyakinan 95% dan resiko kesalahan 5% selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap hasil pengujian yaitu pembahasan grafik dan pembahasan permasalahan selama proses pegujian serta kesesuaian terhadap standar yang digunakan.

4.3. Pembahasan grafik

Untuk menggambarkan bagaimana pengaruh temperatur terhadap radius korosi maka dapat kita lihat grafik hubungan antara temperatur dengan radius korosi dibawah ini:



Grafik 4.1 Hubungan temperatur dengan radius korosi

Dalam gambar 4.2 menggambarkan besarnya radius korosi lapisan *three-layer polyethylene* yang meningkat akibat temperatur yang meningkat pula. Besarnya radius korosi meningkat karena semakin banyak lapisan *fusion bonded epoxy* dalam *three-layer polyethylene* yang terkelupas, hal ini sesuai yang ditunjukkan pada grafik pertama mengenahi hubungan antara temperatur(°C)

dengan jumlah korosi(mpy). Dalam grafik tersebut menggambarkan karakteristik dari logam Fe yang dicelupkan dalam air (basa = pH≥7). Dari situ dapat kita lihat bahwa jumlah logam yang terkorosi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur.

Terkelupasnya lapisan *fusion bonded epoxy* merupakan salah satu dari permasalahan yang muncul selama pengujian berlangsung. Sehingga pembahasan berikutnya adalah terhadap terkelupasnya lapisan tersebut dan permasalahan-permasalahan yang lainnya.

Terjadinya pengelupasan lapisan *fusion bonded epoxy* dari permukaan pipa disebabkan adanya tegangan listrik DC yang masuk pada sistem pengujian. Sistem pengujian seperti ini termasuk elektrolisis karena memasukkan tegangan listrik yang akan menyebabkan terjadinya beda potensial antara anoda dengan katoda sehingga akhirnya akan terjadi perpindahan elektron dari katoda ke anoda. Sehingga ada unsur dari katoda baik itu elektron, material lapisan, maupun lapisan *adhesive* yang akan tereduksi.

Terlepasnya lapisan *fusion bonded epoxy* dari logam dimungkinkan juga karena reduksi ion hidrogen dan itu akan meningkatkan nilai pH dari larutan elektrolit, yang berarti larutan itu akan semakin bersifat basa. Peningkatan besarnya pH menyebabkan reaksi kimia meningkat dan akan mempercepat terjadinya korosi baik pada lapisan pipa maupun pada bahan pipa itu sendiri. Peningkatan pH tersebut disebabkan reduksi oksigen (reaksi no 2) yang akhirnya membentuk ion hidroksil (OH^-). Ferric oksida (Fe_2O_3) pada permukaan logam baja yang merupakan bahan dasar dari pipa akan berubah menjadi ferric hidroksida $Fe(OH)_2$ sehingga akan menghasilkan ion OH^- (raksi no 3) dan itu akan meningkatkan pH pada daerah celah (*crevice corrosion*) yaitu daerah antara lapisan *Fusion Bonded Epoxy* (*FBE*) dengan permukaan logam dan itu terjadi di sekeliling batas luar lubang uji. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi pada katoda saat uji katodik disbonding berlangsung :

1. $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$
2. $H_2O + ½\ O_2 + 2e^- \longrightarrow 2OH^-$
3. $Fe_2O_3 + 3H_2O + 2e^- \longrightarrow 2Fe(OH)_2 + 2OH^-$

4. $H_2O + e^- \longrightarrow 1/2\ H_2 + OH^-$

Akibat reaksi diatas ikatan antara lapisan dengan permukaan pipa semakin lama semakin hilang dengan sendirinya. Dan yang terakhir yaitu reduksi terhadap air sehingga akan terbebentuk ion OH^- (raksi no 4) dan ini akan meningkatkan pH serta berpengaruh terhadap kecepatan reaksi.

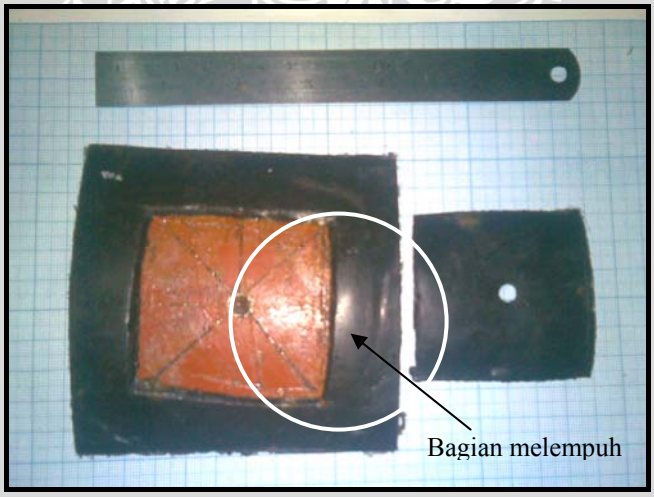
Difusi dari ion hidrogen di bagian lapisan yang mengalami terlepasnya ikatan (*disbondment*) diiringi perpindahan kation positif. Terlepasnya kation ini mungkin juga menyebabkan terlepasnya banyak ikatan. Ion bergerak dibawah lapisan (antara lapisan *FBE* dan permukaan pipa) melalui sebuah celah sepanjang permukaan pipa dan tidak menembus (memotong tegak lurus) lapisan itu sendiri. Tiap perpindahan molekul air (air yang berupa cair ataupun uap) dan perpindahan ion akan melawan ikatan polar dari unsur pelapisnya. Klorida pada permukaan baja akan meningkatkan jumlah lepasnya ikatan dan terus bertambah banyak sehingga lapisan akan melempuh yang disebabkan tekanan osmosis. Air yang mengalami destilasi menyebabkan lepasnya ikatan lebih cepat, dan ini akan menimbulkan gradien tekanan osmosis yang melintasi lapisan tersebut.

Kemungkinan yang lain adalah pada saat air melintasi lapisan (antara *FBE* dengan baja) sepanjang batas angkut melalui lubang jarum, poro-pori, kapilaritas, atau cacat mikro yang lainya air tersebut mengandung polar yang reaktif seperti asam klorid atau asam hidroksid. Pada permukaan baja, kemungkinan air bereaksi dengan kontaminan saat proses pembersihan permukaan, atau dengan logam yang lain, atau sisa lapisan metal oksid tipis yang terdapat pada permukaan baja. Kekurangan air dari kontaminan atau oksid dibawah lapisan, pembengkakan dan berhentinya gaya *Van Der Waals* antara lapisan dengan unsur dikatakan sebagai penyebab dari berkuranganya ikatan zat cair. Sekali molekul air berhenti berikatan secara polar, mereka akan terakumulasi di bawah lapisan karena pengaruh dari osmosis yang berkelanjutan atau akibat gradien elektrokimia. Hal ini sering kali menjadi perembesan lebih lanjut, dan disaat mencapai maksimum lapisan tersebut akan melempuh.

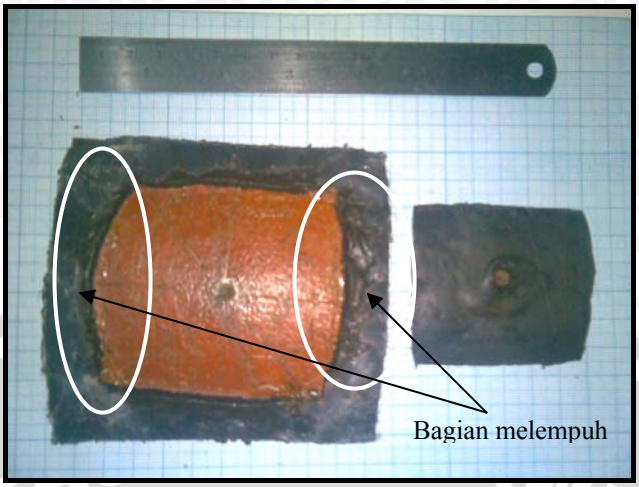
Permasalahan lain yang muncul yaitu kenaikan radius korosi meningkat relatif signifikan seiring dengan meningkatnya temperatur pengujian katodik

disbonding. Hal ini ditunjukkan mulai temperatur 25°C(1,285938 mm) sampai dengan 85°C (2,157813 mm). Akan tetapi dari 85°C(2,157813 mm) sampai 95°C(2,1625 mm) kenaikannya tidak terlalu signifikan. Kemungkinan yang terjadi adalah jumlah oksigen yang terlarut dalam larutan sudah berkurang akibat dari peningkatan temperartur larutan. Hal ini mengakibatkan reaksi katodik berlangsung lebih lambat yang berarti kandungan OH^- pada lubang bahan uji akan berkurang. Ion OH^- inilah yang berperan dalam terkelupasnya lapisan. Faktor lain yang mungkin menyebabkan kenaikan radius korosi berkurang adalah berkurangnya turunan kloralkali dan daya larutnya dalam *cell* elektrolisis. Selain itu dimungkinkan juga karena kekerasan dari lapisan berkurang atau menjadi lunak akibat temperatur yang mengenahinya melebihi temperatur transisi glass.

Permasalahan lainnya yaitu, pada temperatur 85°C dan 95°C lapisan yang terkelupas bukan hanya pada lapisan *fusion bonded epoxy* saja melainkan pada lapisan *Polyethylene* juga. Peristiwa ini dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4



Gambar 4.3 Pengelupasan lapisan *Polyethylene* pada temperatur 85°C



Gambar 4.4 Pengelupasan lapisan *Polyethylene* pada temperatur 95°C

. Penjelasan yang sama mengenahi bagaimana mekanisme terkelupasnya lapisan *fusion bonded epoxy* dapat juga diterapkan untuk menjawab kenapa lapisan *polyethylene* ikut terkelupas akibat temperatur yang relatif tinggi (85°C dan 95°C).

Karena nilai pH yang semakin tinggi akibat produksi ion OH^- yang meningkat terutama pada bagian celah maka akan mempercepat pula terjadinya pengelupasan *Polyethylene.* Ditambah lagi karena sifat *Polyethylene* yang akan menjadi lunak jika mengalami pemanasan tinggi maka hal itu mempercepat terjadinya pengelupasan pada lapisan tersebut. Korosi yang mengakibatkan terkelupasnya lapisan *Polyethylene* dan *FBE* merupakan korosi celah. Reaksi 1 sampai dengan 4 pada paragraf sebelumnya juga bisa diterapkan untuk membahas permasalahan ini.

Difusi dari ion hidrogen pada area dari lapisan yang mengalami terlepasnya ikatan (*disbondment*) mengiringi perpindahan kation positif. Terlepasnya kation ini mungkin juga menyebabkan terlepasnya banyak ikatan. Ion bergerak dibawah lapisan (antara lapisan *Polyethylene* dan lapisan *FBE*) melalui sebuah celah sepanjang permukaan pipa dan tidak menembus (memotong tegak lurus) lapisan itu sendiri. Tiap perpindahan molekul air (air yang berupa cair ataupun uap) dan perpindahan ion akan melawan ikatan polar dari unsur pelapisnya (*Polyethylene*, *adhesive*, dan *FBE*). Klorida pada celah tersebut akan meningkatkan jumlah ikatan ikatan antara *Polyethylene* dengan *asdhesive* dan

terus bertambah banyak sehingga sampai terjadi melempuh, disebabkan tekanan osmostis. Air yang mengalami destilasi menyebabkan lepasnya ikatan lebih cepat, dan ini akan menimbulkan perbedaan tekanan osmosis pada celah.

Kemungkinan lain, pada saat air melintasi lapisan sepanjang batas angkut melalui lubang jarum, poro-pori, kapilaritas, atau cacat mikro yang lainnya, air tersebut mengandung polar yang reaktif seperti asam klorid atau asam hidroksid dan. Meresapnya air yang terus-menerus, dan sampai maksimum, menyebabkan lapisan itu melempuh dan akhirnya lapisan tersebut akan terkelupas.

4.4 Kelayakan terhadap standar

Pada standar *CSA Z245.20-02* berkaitan dengan proses pelapisan pipa saluran gas dengan sistem *three-layer polyethylene* maka nilai rata-rata radius korosi hasil pengujian katodik *disbonding* terhadap bahan uji pipa adalah maksimal 6,5 mm. Jika mengacu pada pernyataan diatas maka pipa yang diuji kali ini adalah layak untuk digunakan, karena nilai radius korosi rata-rata yang dihasilkan adalah 1,835 mm pada setiap temperatur pengujian (25°C - 95°C). akan tetapi dalam penggunaannya diusahakan pada temperatur kurang dari 85°C. Jika digunakan pada temperatur lebih dari 85°C dikawatirkan lapisan *polyethylene* akan mengelupas, seperti yang dijelaskan dalam pembahasan sebelumnnya. Lapisan *polyethylene* berfungsi sebagai pelindung pipa terhadap beban mekanis dari luar ketika pipa ditanam dalam tanah. Oleh karena itu pengelupasan pada lapisan tersebut tidak boleh terjadi karena akan mempercepat kerusakan pada pipa dan akhirnya berpengaruh terhadap usia pipa saat digunakan dalam menyalurkan bahan bakar gas.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan-perhitungan pada bab sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan :

1. Pada pengujian katodik disbonding, kenaikan temperatur akan menyebabkan kenaikan radius korosi pada lapisan *Fusion Bonded Epoxy* pada susunan lapisan *Three-Layer Polyethylene*.
2. Pipa dengan sistem pelapisan *three-layer polyethylene* ini sangat layak digunakan karena dari hasil pengujian katodik disbonding diperoleh rata-rata radius korosi sebesar 1,835mm, artinya nilai ini masuk dalam kriteria standar *CSA Z245.20-02* dimana didalamnya ditulis bahwa nilai rata-rata radius korosi adalah maksimal 6,5mm.

5.2. Saran

Dari penelitian di atas maka saran yang dapat diperoleh, yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh parameter yang lain seperti voltase pengujian, variasi kosentrasi larutan, tebal lapisan *Three-Layer Polyethylene*, dan jenis lapisan pipa saluran gas, yang nantinya akan diuji dengan metode katodik disbonding.
2. Perlu juga dilakukan penelitian mengenahi indikator lain yang bisa digunakan untuk menunjukkan kekorosifan suatu lapisan pipa saluran gas selain radius korosi. Sehingga pengujian dapat dilakukan pada waktu relatif singkat.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penyebab terkelupasnya lapisan *Polyethylene* pada susunan lapisan *Three-Layer Polyethylene* saat pengujian pada temperatur 85°C dan 95°C.

DAFTAR PUSTAKA

Kenneth B. Tator, P.E. 2006 "*Qualification Testing Of Fusion Bonded Epoxy Coatings For Pipeline Exteriors*" www.kta.com/knowledge/PACE2006/FusionBondedEpoxy.pdf - Similar pages

David Norman. 2005 "*Fitness For Purpose Issues Relating To Fbe And Three Layer Pe Coatings*". England www.davidnormancorrosioncontrol.com/html/papers/PDF/DavidNormanNACE2005.pdf

Surdia, Tata, 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita. Jakarta pusat

American Petrolium Institute, 2004. *Specification For Line Pipe. API Specification Forty-Third Edition*. API Publishing Service. Washington. D.C.

Shackelford, James F. 1992. "*Introduction To Material Science For Engineers*" Macmillan Publishing Company. New York

Canadian Standards Association, 2002. *External Fusion Bonded Epoxy Coating For Steel Pipe (CSA Z245.20-02) & External Polyethylene Coating for Pipe (CSA Z245.21-02)*. CSA, Canada.

Hifni. 1992. *Analisis Regresi.* Malang: Kopma Press.

Hifni. 1992. *Analisis Varian dan Penerapannya.* Malang: Kopma Press.

Hifni. 1992. *Metode Statistika.* Malang: Kopma Press.

Bard, Allen J. 1980. *Electrochemical Methods: Fundamentals And Application*. By Jhon Wiley & Sons, Inc. Canada

Peter L. Bailey. 1976. *Analysis With Ion Selective Electrodes*. Heyden & Son. Ltd, 1976. London.

Fontana, Mars Guy. 1987. *Corrosion Engineering*. McGRAW-Hill Book Co. Singapore.

Lampiran 1

Table 2A—PSL 1 Chemical Requirements for Heat and Product Analyses by Percentage of Weight

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

Table 2B—PSL 2 Chemical Requirements for Heat and Product Analyses by Percentage of Weight

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

Footnotes to Tables 2A and 2B:

[a]For each reduction of 0.01% below the specified maximum carbon content, an increase of 0.05% above the specified maximum manganese content is permissible, up to a maximum of 1.50% for Grades X42 through X52, up to a maximum of 1.65% for grades higher than X52 but less than X70, and up to 2.00% for Grades X70 and higher.

[b]The sum of columbium [niobium] and vanadium contents shall not exceed 0.03%, except that, by agreement between the purchaser and the manufacturer, an alternative maximum may be established.

[c]Columbium [niobium], vanadium, or combinations thereof may be used at the discretion of the manufacturer.

[d]The sum of the columbium [niobium], vanadium, and titanium contents shall not exceed 0.15%.

[e]The sum of the columbium [niobium], and vanadium contents shall not exceed 0.06% except that, by agreement between the purchaser and the manufacturer, an alternative maximum may be established.

[f]Other chemical compositions may be furnished by agreement between purchaser and manufacturer, providing that the limits of footnote d, and the tabular limits for phosphorus and sulfur are met.

Sumber : ***For Line Pipe. API Specification Forty-Third Edition.***

Lampiran 2

Table 3A—Tensile Requirements for PSL 1

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

Table 3B—Tensile Requirements for PSL 2

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

Footnotes to Tables 3A and 3B:

[a]The minimum elongation in 2 in. (50.8 mm) shall be that determined by the following equation:

U.S. Customary Unit Equation

$$e = 625{,}000\frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$$

SI Unit Equation

$$e = 1{,}944\frac{A^{0.2}}{U^{0.9}}$$

where

e = minimum elongation in 2 in. (50.8 mm) in percent rounded to the nearest percent.

A = applicable tensile test specimen area, as follows:

a. For round bar specimens:
— 0.20 in.^{2} (130 mm^2) for the 0.500 in. and 0.350 in. specimens,
— 0.10 in.^{2} (65 mm^2) for the 0.250 in. specimen.

b. For full section specimens, the smaller of (i) 0.75 in.^{2} (485 mm^2) and (ii) the cross-sectional area of the test specimen, calculated using the specified outside diameter of the pipe and the specified wall thickness of the pipe, rounded to the nearest 0.01 in.^{2} (10 mm^2);

c. For strip specimens, the smaller of (i) 0.75 in.^{2} (485 mm^2) and (ii) the cross-sectional area of the test specimen, calculated using the specified width of the test specimen and the specified wall thickness of the pipe, rounded to the nearest 0.01 in.^{2} (10 mm^2).

U = specified minimum ultimate tensile strength in psi (MPa).

See Appendix D for the specified minimum elongation values for various tensile specimen sizes and grades.

[b]Maximum yield strength for an intermediate grade shall be the maximum for the next higher listed grade.

[c]All intermediate grades have a maximum ultimate tensile strength of 110,000 psi (758 MPa).

[d]Maximum yield strength for Grade B pipe in sizes subject to longitudinal testing is 72,000 psi (496 MPa).

[e]For wall thickness greater than 0.984 in. (25.0 mm), the maximum yield strength shall be determined by agreement between the purchaser and the manufacturer.

Sumber : ***For Line Pipe. API Specification Forty-Third Edition.***

Lampiran 3

(b) heat the same sample from 25 ± 5 °C to 285 ± 10 °C at a rate of 20 °C/min, then immediately cool the sample to 25 ± 5 °C; and
(c) heat the same sample from 25 ± 5 °C to 150 ± 10 °C at a rate of 20 °C/min.

12.7.3.3 Calculations

12.7.3.3.1

For each of the thermal scans required by Clauses 12.7.3.2.1(b) and (c) and 12.7.3.2.2(b) and (c), determine the applicable Tg values, which are the points of intersection of the extrapolated baseline at the low temperature end and the tangents to the curve at the inflection point, and determine the applicable exothermic heats of reaction (see ΔH and ΔH1 in Figures 3 and 4).

12.7.3.3.2

For coatings, determine the change in Tg value using the following formula:

$$\Delta Tg = Tg4 - Tg3 \quad (5)$$

where
ΔTg = change in Tg value, °C
Tg4 = Tg value for the thermal scan required by Clause 12.7.3.2.2(c), °C
Tg3 = Tg value for the thermal scan required by Clause 12.7.3.2.2(b), °C

12.7.3.3.3

For coatings, determine the percentage conversion using the following formula:

$$C = \frac{\Delta H - \Delta H1}{\Delta H} \times 100 \quad (6)$$

where
C = percentage conversion
ΔH = exothermic heat of reaction for the thermal scan required by Clause 12.7.3.2.1(b), J/g
ΔH1 = exothermic heat of reaction for the thermal scan required by Clause 12.7.3.2.2(b), J/g

12.7.4 Reports

Where required by Clause 11.1, the following information shall be reported to the purchaser by the applicator:
(a) the epoxy powder batch number;
(b) the date of testing;
(c) the type of differential scanning calorimeter;
(d) for epoxy powder, Tg1, Tg2, and ΔH; and
(e) for coating, Tg3, Tg4, ΔTg, ΔH1, and C.

12.8 Cathodic Disbondment of the Coating

12.8.1 Equipment

The equipment shall consist of the following:
(a) a rectified dc power supply with controlled voltage output;
(b) a hotplate with a steel tray containing sand or steel grit/shot controllable to within 3 °C, or an oven controllable to within 3 °C;
(c) a calomel reference electrode;
(d) platinum wire or carbon electrode;
(e) a 75 ± 3 mm ID plastic cylinder;
(f) a 3% sodium chloride solution in distilled water; and
(g) a utility knife (see Clause 12.1.1(g)).

Sumber : ***External Fusion Bonded Epoxy Coating For Steel Pipe (CSA Z245.20-02) & External Polyethylene Coating for Pipe (CSA Z245.21-02)***

Lampiran 3

12.8.2 Test Specimens

Laboratory-coated test specimens shall be approximately 6.4 × 100 × 100 mm. Specimens from test rings shall be approximately 100 mm × 100 mm × pipe wall thickness.

12.8.3 Procedures

12.8.3.1

Use only test specimens that are confirmed to be holiday-free with a holiday detector set at a minimum of 1800 V.

12.8.3.2

Drill either a 3.0 or 3.2 mm diameter holiday in the centre of the test specimen through the coating to expose the steel substrate.

12.8.3.3

Centre the plastic cylinder over the holiday and apply a sealant to form a water-resistant seal.

12.8.3.4

Add to the cylinder at least 300 mL of the sodium chloride solution that has been preheated to the test temperature. Mark the solution level on the cylinder. Insert the electrode into the solution and connect it to the positive wire from the dc power supply. Attach the negative wire from the dc power supply to a bare spot prepared on the test specimen.

12.8.3.5

Apply voltage (negative with respect to the calomel reference electrode) to the test specimen, and maintain constant temperature under one or more of the following test conditions, as given in Tables 2, 3, and 4:

(a) 1.5 V, 20 ± 3 °C, for a minimum of 28 d; and → For FBT

(b) 3.5 V, 65 ± 3 °C, for a minimum of 24 h. → For production

Maintain the solution level by the addition of distilled water as required.

12.8.3.6

Upon test completion, dismantle the test cell, air cool the specimen to 20 ± 3 °C, and evaluate the cathodic disbondment characteristics of the test specimen within 1 h of the removal from heat.

12.8.3.7

Using the utility knife, make radial cuts through the coating to the substrate, generally as shown in Figure 5. Such cuts shall extend at least 20 mm from the centre of the holiday.

12.8.3.8

Insert the tip of the blade of the utility knife under the coating at the holiday. Using a levering action, chip off the coating. Continue until the coating demonstrates a definite resistance to the levering action.

12.8.3.9

Measure the disbonded distance from the edge of the original holiday along each radial cut, and average such measured values.

12.8.4 Reports

Where required by Clause 11.1, the following information shall be reported to the purchaser by the applicator:

Sumber : ***External Fusion Bonded Epoxy Coating For Steel Pipe (CSA Z245.20-02) & External Polyethylene Coating for Pipe (CSA Z245.21-02)***

Lampiran 3

(a) the epoxy powder batch number;
(b) the date of testing; and
(c) the average disbondment value in millimetres.

12.9 Interface Contamination of the Coating

12.9.1 Equipment

The equipment shall consist of the following:
(a) a stereo microscope; and
(b) a utility knife.

12.9.2 Test Specimens

Test specimens shall be approximately 25 mm × 200 mm × pipe wall thickness, with the 200 mm dimension parallel to the axis of the pipe.

12.9.3 Procedure

12.9.3.1

Use the utility knife to remove an approximately 3 × 20 mm piece of coating from the test specimen bent in accordance with the requirements of Clause 12.10.3.1.

12.9.3.2

Examine the metal interface side of the coating with the stereo microscope at 40× magnification. Estimate the percentage of interface contamination.

12.9.4 Reports

Where required by Clause 11.1, the following information shall be reported to the purchaser by the applicator:
(a) the epoxy powder batch number;
(b) the date of testing; and
(c) the percentage of interface contamination.

12.10 Porosity of the Coating

12.10.1 Equipment

The equipment shall consist of the following:
(a) a stereo microscope;
(b) a bench vise or guided-bend jig;
(c) dry ice or a freezer; and
(d) a utility knife.

12.10.2 Test Specimens

Laboratory-coated test specimens shall be approximately 6.4 × 25 × 200 mm. Specimens from test rings shall be approximately 25 mm × 200 mm × pipe wall thickness, with the 200 mm dimension parallel to the axis of the pipe.

12.10.3 Procedures

12.10.3.1

Cool the test specimen to at least −30 °C and bend it approximately 180° in the bench vise or guided-bend jig.

Sumber : ***External Fusion Bonded Epoxy Coating For Steel Pipe (CSA Z245.20-02) & External Polyethylene Coating for Pipe (CSA Z245.21-02)***

Lampiran 4

Table 1
Epoxy Powder Properties
(See Clauses 5.2.2 and 7.3.1.3.)

Test	Acceptance criteria	Test method
Cure time	Meets manufacturer's specification	Clause 12.1
Gel time	Within 20% of manufacturer's specified nominal	Clause 12.2
Moisture content*	0.5% maximum	Clause 12.3
	0.6% maximum	Clause 12.4
Particle size	3.0% maximum powder retained on 150 µm mesh and 0.2% maximum powder retained on 250 µm mesh	Clause 12.5
Density	Meets manufacturer's specification within 50 g/L	Clause 12.6
Thermal characteristics	Meets manufacturer's specification	Clause 12.7

The specific test method to be used shall be at the manufacturer's option.

Table 2
Coating Qualification Test Requirements
(See Clauses 6.1.3, 12.8.3.5, and 12.11.3.3.)

Test	Acceptance criteria	Number of test specimens	Test method
Thermal characteristics	Meets manufacturer's specification	3	Clause 12.7
24 h cathodic disbondment	6.5 mm maximum radius	3	Clause 12.8
28 d cathodic disbondment	8.5 mm maximum radius	3	Clause 12.8
Cross-section porosity	Rating of 1–4	3	Clause 12.10
Interface porosity	Rating of 1–4	3	Clause 12.10
3.0° flexibility	No cracking	5	Clause 12.11
1.5 J impact resistance	No holidays	3	Clause 12.12
Strained coating, 28 d cathodic disbondment	No cracking	3	Clause 12.13
24 h adhesion	Rating of 1–3	3	Clause 12.14

Sumber : ***External Fusion Bonded Epoxy Coating For Steel Pipe (CSA Z245.20-02) & External Polyethylene Coating for Pipe (CSA Z245.21-02)***

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Lampiran 5

Table 3
Laboratory-Coating Test Requirements
(See Clauses 7.3.1.1, 7.3.1.4, 12.8.3.5, and 12.11.3.3.)

Test	Acceptance criteria	Number of test specimens	Test method
24 h cathodic disbondment	6.5 mm maximum radius	1	Clause 12.8
Cross-section porosity	Rating of 1–4	1	Clause 12.10
Interface porosity	Rating of 1–4	1	Clause 12.10
2.5° flexibility	No cracking	3	Clause 12.11
24 h adhesion	Rating of 1–3	1	Clause 12.14

Table 4
Production Coating Test Requirements
(See Clauses 7.3.1.1, 7.3.3.3.3, 7.3.3.4.1, 7.3.3.5, 12.8.3.5, and 12.11.3.3.)

Test	Test type	Acceptance criteria	Number of test specimens	Test method
24 h cathodic disbondment	A	11.5 mm maximum	1	Clause 12.8
Cross-section porosity	B	Rating of 1–4	1	Clause 12.10
Interface porosity	B	Rating of 1–4	1	Clause 12.10
2.5° flexibility	A	No cracking	3	Clause 12.11
1.5 J impact resistance	A	No holidays	1	Clause 12.12
24 h adhesion	A	Rating of 1–3	1	Clause 12.14
Interface contamination	B	30% maximum	1	Clause 12.9

Sumber : ***External Fusion Bonded Epoxy Coating For Steel Pipe (CSA Z245.20-02) & External Polyethylene Coating for Pipe (CSA Z245.21-02)***

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
repository.ub.ac.id

Lampiran 6

SPINDO

PT. STEEL PIPE INDUSTRY OF INDONESIA
(S P I N D O)

Type	: Form
Doc. No.	: QCC / S-IV / 54
Revision	: 0
Page	: 1 of 1

DIMENSIONAL AND VISUAL INSPECTION OF POLYETHYLENE COATING REPORT

Customer	: PT. KARYA PANCA SARANA / PT.BPI	*Merk Type of - F B E*	: DU PONT, NAP-GARD 7-2806 or EQUIVALENT	*Page*	: 1 of 3
PO No.	: 024/SPB-KPS/09/2005 & 4500034460	*- Adhesive*	: Basel, Lucalen G 3510 H or ME 0420 Borealis	*Date*	: 15 - 10 - 05
Prod. No.	: J.010.05.BJ	*- P E*	: Basell, Lupolen 4552 D, HDPE or Equivalent	*Shift*	: I
Pipe Size	: Ø 10 3/4" x 11,13 x 12 mtr	*Abrasive Shot Size*	:	*From*	: Quality Control
Pipe Spec.	: API 5L GRADE B (PSL - 1)	*Grit Size*	:	*Distribution*	: QA Adm
Grade Mat.	: GRADE B	*Room Temp.*	:		

NO.	COATING NUMBER	PIPE NUMBER	LENGTHS (FeeT)	PREHEATING							MAINHEATING						HOLIDAY DETECTION	REMARK
				Cleanliness (Each Pipe)	RH % ≤ 85 % (2/shift)	Dew Point (2/shift)	Temp. Of Pipe > 3 ° above dew point (2/shift)	Profile Surface Sa 2½ (Each Pipe)	Surface Roughness 50-100 µm (10/shift or 4X8hour)	Surface Temp. 62 - 82 °C (Each Pipe)	FBE Pipe Temp. 180-220°C (Each Pipe)	FBE Thick Min. 150 microns (Initial Run)	ADHESIVE Die Temp. 200 ±20°C (Random)	ADHESIVE Thick Min. 150 microns (Initial Run)	PE Die Temp. 200-240°C (Random)	PE Total Thick. 2.5 min (Initial Run)	Free from Porocity 15 kV (All Pipes)	
1	001	095 - 1547	39.96	√	58	21	38	√	70	68	190	155	210	205	205	2,5	√	√
2	002	086 - 1402	39,93	√				√		68	190						√	√
3	003	112 - 1825	40,05	√				√		68	190						√	√
4	004	092 - 1502	40,25	√				√		68	190						√	√
5	005	083 - 1355	36,13	√				√		65	188						√	√
6	006	108 - 1757	39,94	√				√		68	190						√	√
7	007	085 - 1380	37,64	√				√		68	190						√	√
8	008	114 - 1849	39,44	√				√	65	68	190	160	215	155	205		√	√
9	009	064 - 1036	39,92	√				√		68	190						√	√
10	010	113 - 1831	39,97	√				√		68	190						√	√
11	011	119 - 1940	39,91	√				√		68	190						√	√
12	012	108 - 1751	39.43	√				√		65	190						√	√
13	013	091 - 1480	40,03	√				√		68	190						√	√
14	014	111 - 1808	39,91	√				√		68	190						√	√
15	015	115 - 1864	37,92	√				√		68	190						√	√

Pipe Total : 15 Joints
Length Total : 549 Feet

Note : Acc : Accepted Rej : Rejected

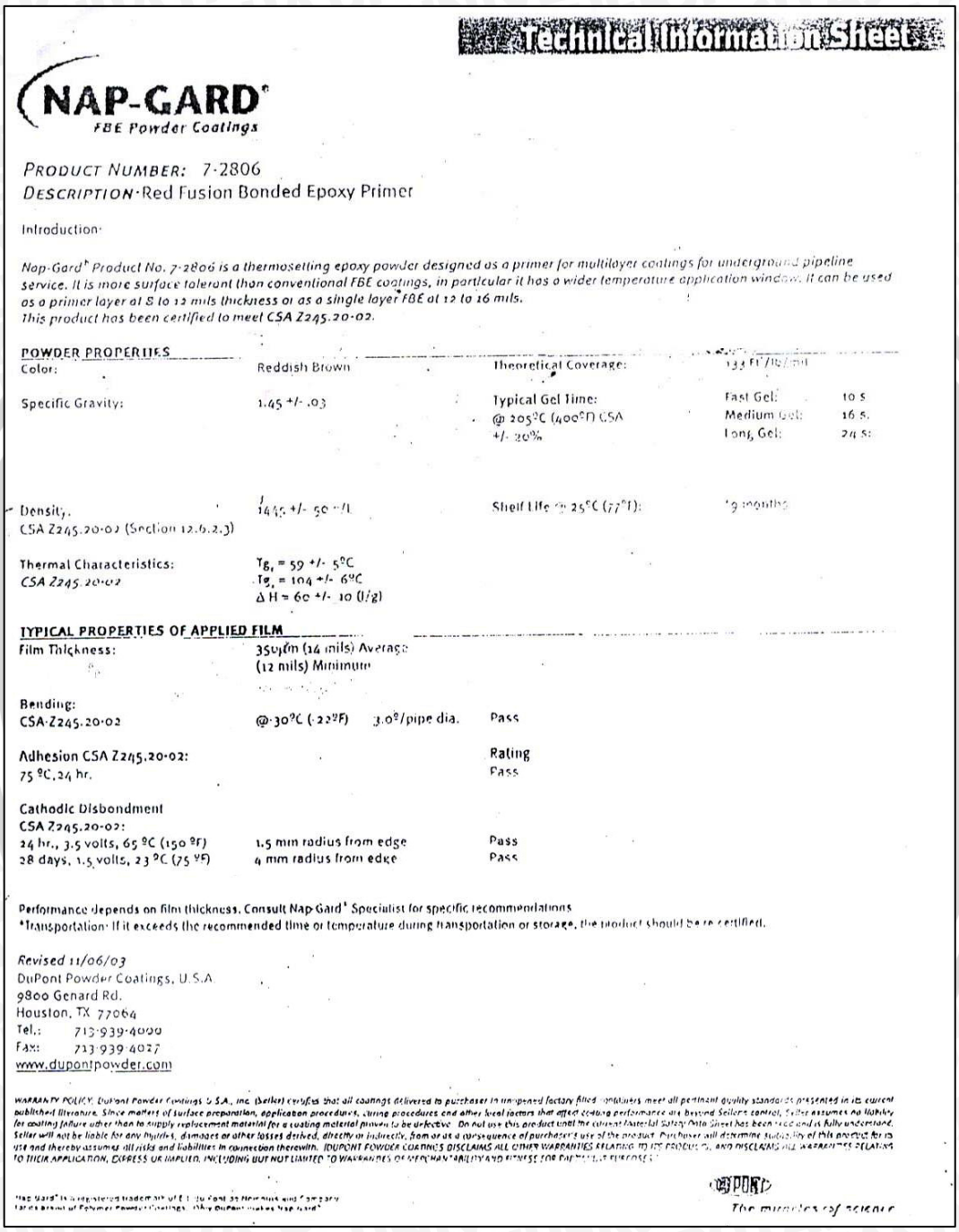
Material Consumption :
Powder Epoxy : Kg
Adhesive : Kg
Polyethylene : Kg

PT. Steel Pipe Industry Of Indonesia
Prepared by, Checked by,
(Inspector Visual) (Operator) ( )

PT. BPI Witnessed / Reviewed by,
(Misyantoro) ( )

Sumber : PT. STEEL PIPE INDUSTRY OF INDONESIA UNIT IV
BEJI, PASURUAN, JAWA TIMUR

Lampiran 7



Technical Information Sheet

NAP-GARD®
FBE Powder Coatings

PRODUCT NUMBER: 7-2806
DESCRIPTION: Red Fusion Bonded Epoxy Primer

Introduction:

Nap-Gard® Product No. 7-2806 is a thermosetting epoxy powder designed as a primer for multilayer coatings for underground pipeline service. It is more surface tolerant than conventional FBE coatings, in particular it has a wider temperature application window. It can be used as a primer layer at 8 to 12 mils thickness or as a single layer FBE at 12 to 16 mils.
This product has been certified to meet CSA Z245.20-02.

POWDER PROPERTIES

Color:	Reddish Brown	Theoretical Coverage:	133 Ft²/lb/mil
Specific Gravity:	1.45 +/- .03	Typical Gel Time: @ 205°C (400°F) CSA +/- 20%	Fast Gel: 10 s Medium Gel: 16 s. Long Gel: 24 s:
Density, CSA Z245.20-02 (Section 12.6.2.3)	1445 +/- 50 g/L	Shelf Life @ 25°C (77°F):	12 months
Thermal Characteristics: *CSA Z245.20-02*	T_{g_1} = 59 +/- 5°C T_{g_2} = 104 +/- 6°C ΔH = 60 +/- 10 (J/g)		

TYPICAL PROPERTIES OF APPLIED FILM

Film Thickness:	350µm (14 mils) Average (12 mils) Minimum		
Bending: CSA-Z245.20-02	@-30°C (-22°F)	3.0°/pipe dia.	Pass
Adhesion CSA Z245.20-02: 75 °C, 24 hr.			Rating: Pass
Cathodic Disbondment CSA Z245.20-02:			
24 hr., 3.5 volts, 65 °C (150 °F)	1.5 mm radius from edge		Pass
28 days, 1.5 volts, 23 °C (75 °F)	4 mm radius from edge		Pass

Performance depends on film thickness. Consult Nap-Gard® Specialist for specific recommendations
*Transportation: If it exceeds the recommended time or temperature during transportation or storage, the product should be re-certified.

Revised 11/06/03
DuPont Powder Coatings, U.S.A.
9800 Genard Rd.
Houston, TX 77064
Tel.: 713-939-4000
Fax: 713-939-4027
www.dupontpowder.com

WARRANTY POLICY: DuPont Powder Coatings U.S.A., Inc. (Seller) certifies that all coatings delivered to purchaser in unopened factory filled containers meet all pertinent quality standards presented in its current published literature. Since matters of surface preparation, application procedures, curing procedures and other local factors that affect coating performance are beyond Sellers control, Seller assumes no liability for coating failure other than to supply replacement material for a coating material proven to be defective. Do not use this product until the current Material Safety Data Sheet has been read and is fully understood. Seller will not be liable for any injuries, damages or other losses derived, directly or indirectly, from or as a consequence of purchaser's use of the product. Purchaser will determine suitability of this product for its use and thereby assumes all risks and liabilities in connection therewith. DUPONT POWDER COATINGS DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES RELATING TO ITS PRODUCTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES RELATING TO THEIR APPLICATION, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR PARTICULAR PURPOSES.

"Nap-Gard" is a registered trademark of E. I. du Pont de Nemours and Company or an affiliate of DuPont Powder Coatings. Only DuPont makes Nap-Gard®.

DUPONT
The miracles of science

Sumber : Dupont Powder Coating, U.S.A

Lampiran 7

GENERAL APPLICATION PARAMETERS

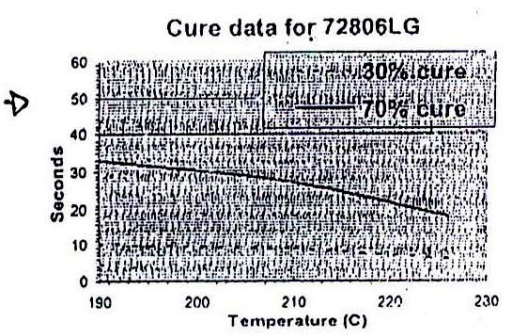
1. Grit blast to NACE Near-White specifications (Swedish Standard #Sa 2½) and profile between 50 µm (2 mils) and 112 µm (4.5 mils).
2. Preheat pipe to recommended temperature.
3. Apply Nap-Gard ® 7-2806 powder to meet recommended thickness specification.
4. Apply adhesive followed by polyolefin outer layer, or FBE outer layer.
5. Follow recommended cure schedule (see below).

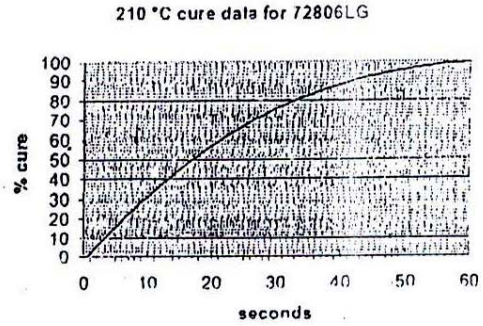
GEL TIME & CURE SCHEDULE GUIDELINES

The cure profile and schedule for Nap-Gard ® Product No. 7-2806 shows the minimum time at temperature required to achieve the typical performance properties of the coating. Because pipe cooling rates vary so widely with pipe wall thickness, no allowance has been made for heat loss from the pipe but this can be easily measured on the coating line and allowance made.
Recommended powder application temperature range is 200°C to 232°C and post heating is not a normal requirement. The minimum post application curing temperature (as measured on the coated pipe), and the time to quench may conform to the following cure schedule:

	Minimum Time to Quench		
Pipe Temperature	Fast Gel	Medium Gel	Long Gel**
200°C	100 Seconds	120 s.	150 s.
232°C	60 Seconds	80 s	90 s.

*CAUTION** Recommended quench time is based on the assumption that the listed temperature is maintained without any cool down rate. Quench time will vary with application parameters and pipe sizes. Therefore, the above information shall be used only as a guideline by the applicator to develop proper quench time. Cure should be verified by DSC or other methods. For three layer, the optimum time for adhesive application is between 30-70% cure of the FBE, the following graph is a guide to the cure profile. This has to be developed by the applicator based on the plant layout.





Revised 12/16/03

DuPont Powder Coatings, U.S.A.
9800 Genard Rd.
Houston, TX 77064
Tel.: 713-939-4000
Fax: 713-939-4027
www.dupontpowder.com

WARRANTY POLICY: DuPont Powder Coatings U.S.A., Inc. (Seller) certifies that all coatings delivered to purchaser in unopened factory filled containers meet all pertinent quality standards presented in its current published literature. Since matters of surface preparation, application procedures, curing procedures and other factors affect coating performance are beyond Seller's control, Seller assumes no liability for coating failure other than to supply replacement material for a coating material proven to be defective. Do not use Seller will not be liable for any injuries, damages or other losses derived, directly or indirectly, from or as a result use and thereby assumes all risks and liabilities in connection therewith. DUPONT POWDER COATINGS DISCLAIMS TO THEIR APPLICATION, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND

Nap-Gard® is a registered trademark of E.I. du Pont de Nemours and Company for its brand of Polymer Powder Coatings. Only DuPont makes Nap-Gard®

DUPONT
The miracles of science

Sumber : Dupont Powder Coating, U.S.A

Lampiran 8

DUPONT

Fusabond®

adhesive polymers

FACT SHEET

FUSABOND® E MB 158DH
TYPICAL PHYSICAL PROPERTIES

PROPERTY	ASTM TEST METHOD	VALUES
Density	D1505	0.933 g/cc
Melt Index dg/min. **	D1238	1.7 g/10min.
Tensiles, 50 mm/ min.	D638 Type I	
Yield		14.0 MPa
Ultimate		24 MPa
Elongation @ break @ 23°C		>600%
Young's Modulus		471 MPa
Tensile Impact 20°C	D1822	9.6 J/ cm²
Vicat Softening Point	D1525	104°C
Melting Point	D3418	128°C
Hardness, Shore	D2240	D 56
O.I. Time @ 220°C , in Oxygen		20 minutes
Cold Temp. Brittleness	D746	<-70°C
ESCR	D1693	Fo 1000 hrs.*
Flexural Modulus	D790	249 MPa
Lap Shear @ 23°C	D1002	1644psi
Water Absorption after 24 hrs.	D570	0.006%
MVTR	F1249	0.924 gm-mil/100in²/day
Service Temperature	(Max 85° / Min -40°C)	
Storage Condition	(Min temp -40°C / Max +85°C; RH <50%)	
Physical nature of product:	Pellets	

Test terminated after 1000 hours

Data shown are the average values and should not be used for specifications.

Processing Temperature (See DuPont Processing Instructions)

** Flow Rate, Melt Index, Melt Flow Index and Melt Flow Rate (ISO), per ASTM D1238, @ 190°C / 2.16 kg are synonymous terms. Results may be reported in dg/min or g/10 min since they are the same values.

" Expect no loss of performance nor fungal growth problems if stored at < 23°C and < 50% relative humidity, for up to 2 years".

July 28, 2004

04/18/2005

Sumber : Dupont Powder Coating, U.S.A

Lampiran 9

P 0017 30.08.2001 Ed.7

Polyethylene

Borstar® HE3450

Black High Density Polyethylene for Steel Pipe Coating

Description

Borstar HE3450 is a black, high density polyethylene produced with the advanced Borstar technology, providing the material with especially good melt strength and extrudability. Also its mechanical and heat deformation properties as well as ESCR resistance are very good. It contains very well dispersed, fine particle sized carbon black in order to ensure excellent weathering resistance.

Borstar HE3450 fulfils the requirements in NFA 49710, DIN 30670S, CAN/CSA-Z245.21-M98 and prEN 10285 when used in combination with the grafted adhesives ME0420 or ME0430 and a compatible powder epoxy and applied under sound processing conditions.

Applications

Borstar HE3450 is recommended for top-coat in steel pipe coating and is suitable for severe laying conditions even at elevated ambient temperatures. With this material, high running speeds and relatively thin layers are obtained without problems. Borstar HE3450 can be used up to 85°C service temperature of the pipeline when combined with the grafted adhesives ME0420 or ME0430.

Physical Properties

		Typical Value*	Unit	Test Method
Density	(Base resin)	942	kg/m³	ISO 1183/ISO 1872-2B
Density	(Compound)	952	kg/m³	ISO 1183/ISO 1872-2B
Melt Flow Rate	(190°C/2.16 kg)	0.5	g/10 min	ISO 1133
Melt Flow Rate	(190°C/5.0 kg)	2.0	g/10 min	ISO 1133
Tensile Strength		>26	MPa	ASTM D 638
Tensile Strain at Break		>600	%	ASTM D 638
Hardness, Shore D		60	-	ASTM D 2240
Vicat Softening Temperature	A50 (10 N)	120	°C	ISO 306
Carbon Black content		≥2	%	ASTM D 1603
Brittleness Temperature		<-82	°C	ASTM D 746
ESCR	(10% Igepal), F_{20}	>5000	h	IEC 811-4-1/B, ASTM D 1693 A
DC Volume Resistivity		10^{16}	Ω cm	ASTM D 257
Dielectric Strength		>30	kV/mm	IEC 243
Melting Temperature	(DSC)	128	°C	ISO 3146

* Data should not be used for specification work.

Borstar is a registered trademark of Borealis A/S

Borealis A/S
Lyngby Hovedgade 90
DK-2800 Kongens Lyngby (Denmark)
Telephone: +45 45 86 00 00
Fax: +45 45 86 61 23
www.borealisgroup.com

BOREALIS

Sumber : Borealis A/S, Denmark

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA