



TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR FLUIDA DALAM DAN VARIASI JENIS LINGKUNGAN LUAR TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI DIBAWAH INSULASI BAJA ASTM A53 GRADE-B

Fahny Ardian
NRP 02511440000037

Dosen pembimbing
Tubagus Noor Rohmannudin S.T, M.Sc
Budi Agung Kurniawan S.T, M.Sc

Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - TL 141584

**ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR
FLUIDA DALAM DAN VARIASI JENIS
LINGKUNGAN LUAR TERHADAP
KARAKTERISTIK KOROSI DIBAWAH INSULASI
BAJA ASTM A53 GRADE-B**

**Fahny Ardian
NRP 0251144000037**

**Dosen pembimbing
Tubagus Noor Rohmannudin S.T, M.Sc
Budi Agung Kurniawan S.T, M.Sc**

**Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS EFFECT OF INTERNAL FLUID
TEMPERATURE AND VARIETY OF EXTERNAL
ENVIRONMENT TO CHARACTERISTIC OF
CORROSION UNDER INSULATION ON CARBON
STEEL ASTM A53 GRADE-B**

**Fahny Ardian
NRP 0251144000037**

**Advisor
Tubagus Noor Rohmannudin S.T, M.Sc
Budi Agung Kurniawan S.T, M.Sc**

**Department of Material Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH VARIASI TEMPERATUR FLUIDA
DALAM DAN VARIASI JENIS LINGKUNGAN LUAR
TERHADAP KARAKTERISTIK KOROSI DIBAWAH
INSULASI BAJA ASTM A53 GRADE-B**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fahny Ardian
NRP. 0251144000037

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Tubagus Noor Rohmannudin ST, M.Sc (Pembimbing I)
2. Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc (Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Dalam
dan Variasi Jenis Lingkungan Luar Terhadap
Karakteristik Korosi dibawah Insulasi Baja ASTM A53
Grade-B**

Nama : Fahny Ardian
NRP : 02511440000037
Departemen : Teknik Material
Dosen Pembimbing : Tubagus Noor R. S.T, M.Sc
Budi Agung Kurniawan S.T, M.Sc

ABSTRAK

Corrosion Under Insulation (CUI) adalah penurunan kualitas material yang terjadi di antara material logam dengan material insulasi. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya CUI dengan inorganic zinc coating. Namun inorganic zinc pada temperatur 60°C akan mengalami korosi galvanik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur fluida dalam pipa dan jenis lingkungan luar terhadap karakteristik CUI pada baja ASTM A53 Grade-B berbahan insulasi silica aerogel dan aluminium foil serta menggunakan coating PTFE. Spesimen akan diuji pada temperature fluida dalam sebesar 50°C, 60°C dan 70°C. Dengan jenis lingkungan luar berupa variasi kandungan klorin (Cl). Spesimen diuji selama 14 hari dengan metode immerse. Dari uji mikroskop optik diketahui bahwa seiring dengan kenaikan temperatur fluida dalam akan meningkatkan kerusakan pada coating PTFE. Pengujian SEM menunjukkan bahwa jenis korosi yang terjadi adalah jenis uniform corrosion. Hasil pengujian XRD menunjukkan adanya senyawa $FeCl_2$, $FeSO_4$ dan $Fe(OH)_2$. Dari hasil weight loss didapatkan bahwa laju korosi tertinggi adalah spesimen pada temperatur 70°C dan pada lingkungan 450 ppm NaCl sedangkan untuk laju korosi terendah adalah spesimen pada temperatur 50°C dan pada lingkungan 0 ppm NaCl

Kata kunci: CUI, Coating PTFE, Klorin, Temperatur

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**Analysis Effect of Internal Fluid Temperature and
Variety of External Environment to Characteristic of
Corrosion Under Insulation on Carbon Steel ASTM A53
Grade-B**

Name : Fahny Ardian
NRP : 02511440000037
Departmen : Material Engineering
Advisor : Tubagus Noor R. S.T M,Sc
Budi Agung Kurniawan S.T,M.Sc

ABSTRACT

Corrosion Under Insulation (CUI) is a degradation in the quality of material occurring between the metal material and insulating material. One way to prevent CUI using inorganic zinc coatings. However, inorganic zinc at temperature of 60°C will transform to galvanic corrosion. The purpose of this final project is to determine the effect of internal fluid temperature and variety of external environment to characteristics of CUI on carbon steel ASTM A53 Grade-B insulated by silica aerogel and aluminum foil and using a PTFE coating. The specimens were tested at internal fluid temperature of 50°C, 60°C and 70°C. With the external environment using variations of chlorine (Cl). Specimens were tested for 14 days using immerse methode. From the test result using optical microscope is known that along with the increasing of internal fluid temperature, increase the damage of PTFE coating. SEM testing showed that this type of corrosion that occurs is uniform corrosion. The test results of XRD showed the compound it was $FeCl_2$, $FeSO_4$ and $Fe(OH)_2$. From the results of weight loss, found that the highest corrosion rate is the specimen at 70°C and at 450 ppm NaCl. The corrosion rate is the lowest for the specimen at temperature of 50°C and environment of 0 ppm NaCl

Keywords: *CUI, PTFE Coating, Chlorine, Temperature*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan penelitian tugas akhir yang berjudul **Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Dalam dan Variasi Jenis Lingkungan Luar Terhadap Karakteristik Korosi dibawah Insulasi Baja ASTM A53 Grade-B.**

Penulis menyadari bahwa selama penyusunan tugas akhir ini telah banyak pihak yang dilibatkan untuk membantu penulis menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah S.W.T karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Kedua orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis.
3. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberikan masukan kepada penulis agar penulis lebih terpacu untuk menyelesaikan laporan.
4. Bapak Budi Agung Kurniawan S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberikan masukan kepada penulis agar penulis lebih terpacu untuk menyelesaikan laporan
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Kepala Departemen Teknik Material FTI-ITS.
6. Bapak Dr. Eng Hosta Ardhyanta, S.T, M.Sc selaku Ketua Prodi S-1 Departemen Teknik Material yang tidak pernah berhenti untuk memberikan informasi terbaru seputar tugas akhir kepada penulis
7. Kepada Bapak Satriyo S.T dan Bapak Alan S.T dll selaku pegawai PT. PETROKIMIA Gresik telah banyak membantu dalam pelaksanaan pengerjaan tugas akhir ini.

8. Kepada teman-teman departemen teknik material angkatan 2014 (MT-16) yang selalu menemani dalam proses pengerjaan laporan tugas akhir ini.
9. Terima kasih kepada teman-teman Ikemas Surabaya.
10. Terimakasih kepada Linda Wulansari Taryanto S.Si.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis sangat terbuka dengan kritik dan saran dari pembaca. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan dampak yang besar bagi pembaca. Terima kasih.

Surabaya, 2 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

COVER PAGE	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Korosi	5
2.1.1 Definisi Korosi	5
2.1.2 Prinsip Dasar Korosi	6
2.1.3 Faktor Penyebab Korosi	8
2.1.4 Pengukuran Laju Korosi	12
2.1.5 Jenis-Jenis Korosi	14
2.2 Corrosion Under Insulation (CUI)	14
2.2.1 Definisi CUI	14
2.2.2 Mekanisme CUI	15
2.2.3 Faktor-Faktor CUI	17
2.2.4 Risiko CUI	21
2.2.5 Jenis Korosi CUI	22
2.3 Sistem Insulasi	24
2.3.1 Jenis Insulasi	25
2.3.2 Fungsi Insulasi	26
2.3.3 Sifat Insulasi	27
2.3.4 Material Insulasi	28
2.4 Lapisan Pelindung	31

2.4.1	PTFE	33
2.4.2	Epoxy	33
2.5	Penutup Pelindung	34
2.6	Penelitian Sebelumnya	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir Penelitian	45
3.2	Metode Penelitian	46
3.3	Prosedur Penelitian	47
3.3.1	Preparasi Spesimen Uji	47
3.3.2	Preparasi Coating	49
3.3.3	Preparasi Bahan Insulasi	51
3.3.4	Preparasi Lingkungan Luar	52
3.3.5	Proses Insulasi	53
3.3.6	Perancangan Spesimen Uji	54
3.3.7	Perancangan Alat Eksperimen	55
3.4	Karakterisasi Spesimen Uji	56
3.4.1	Mikroskop Optik	56
3.4.2	Pengujian XRD	57
3.4.3	Pengujian SEM	58
3.4.4	Pengujian <i>weightloss</i>	58
3.5	Rencana Pengujian	59
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisa Data	61
4.1.1	Hasil Mikroskop Optik	61
4.1.2	Hasil Uji SEM	66
4.1.3	Hasil Uji XRD	69
4.1.4	Hasil Uji <i>weight loss</i>	70
4.2	Pembahasan	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	91
5.2	Saran	91
DAFTAR PUSTAKA		xxi
LAMPIRAN		xxv
BIODATA PENULIS		xlv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Metallurgy in reserve</i>	5
Gambar 2.2	Skema Dasar Proses Korosi	6
Gambar 2.3	Syarat Terjadi Reaksi Korosi	8
Gambar 2.4	Mekanisme adanya <i>Internal Water</i>	15
Gambar 2.5	Mekanisme Terjadi Korosi.....	16
Gambar 2.6	Ilustrasi Mekanisme CUI.....	16
Gambar 2.7	Efek Temperatur Terhadap Laju Korosi pada Sistem Terbuka dan Tertutup.....	19
Gambar 2.8	Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi Pipa Baja.....	21
Gambar 2.9	Penyebab <i>Stress Corrosion Cracking</i>	23
Gambar 2.10	<i>Cross Section</i> Sebuah Pipa Terinsulasi.....	25
Gambar 2.11	Alumunium <i>Jacket</i>	35
Gambar 2.12	Laju Korosi pada Simulasi Isothermal CUI pada Temperatur 65°C	38
Gambar 2.13	Hasil Laju Korosi Eksperimen Laboratorium pada Temperatur 65°C	38
Gambar 2.14	Laju Korosi pada Temperatur 65°C.....	39
Gambar 2.15	Laju Korosi pada Temperatur 121°C.....	39
Gambar 2.16	Hasil Mikroskop Lingkungan Basah dan Kering	41
Gambar 2.17	Hasil Uji SEM Lingkungan Kering 75°C	42
Gambar 2.18	Hasil Uji XRD.....	43
Gambar 2.19	Hasil Uji <i>Weihjh Loss</i>	43
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 3.2	Kondisi Spesimen Setelah Dipotong	47
Gambar 3.3	Penampnag Melimpang spesimen	49
Gambar 3.4	Kondisi Spesimen Setelah Dilakukan <i>Coating</i>	50
Gambar 3.5	Bahan alumunium foil dan <i>Silica Aerogel</i>	52
Gambar 3.6	Alat dan Bahan Untuk Lingkungan Luar.....	53
Gambar 3.7	Hasil Proses Insulasi	54
Gambar 3.8	Rancangan Spesimen Uji	55
Gambar 3.9	Rancangan Alat Eksperimen	56
Gambar 3.10	Alat Mikroskop Optik	57
Gambar 3.11	Alat Uji XRD	57

Gambar 3.12	Alat Uji SEM	58
Gambar 3.13	Timbangan Digital	59
Gambar 4.1	Hasil pengamatan permukaan luar coating PTFE dengan mikroskop optik perbesaran 50X pada temperatur 50o C:(a) 0 ppm (b) 150 ppm (c) 300 ppm (d) 450 ppm NaCl.....	62
Gambar 4.2	Hasil pengamatan permukaan luar <i>coating</i> PTFE dengan mikroskop optik perbesaran 50X pada temperatur 60° C:(a) 0 ppm (b) 150 ppm (c) 300 ppm (d) 450 ppm NaCl.....	63
Gambar 4.3	Hasil pengamatan permukaan luar <i>coating</i> PTFE dengan mikroskop optik perbesaran 50X pada temperatur 70° C:(a) 0 ppm (b) 150 ppm (c) 300 ppm (d) 450 ppm NaCl.....	65
Gambar 4.4	Hasil SEM pada spesimen sebelum di <i>immerse</i> (a) perbesaran 500x, (b) perbesaran 1500x	66
Gambar 4.5	Hasil SEM pada temperatur 50°C pada lingkungan konsentrasi 450 ppm NaCl: (a) perbesaran 250x, (b) perbesaran 500x	67
Gambar 4.6	Hasil SEM pada temperatur 60°C pada lingkungan konsentrasi 450 ppm NaCl: (a) perbesaran 250x, (b) perbesaran 500x	67
Gambar 4.7	Hasil SEM pada temperatur 70°C pada lingkungan konsentrasi 450 ppm NaCl: (a) perbesaran 250x, (b) perbesaran 500x	68
Gambar 4.8	Hasil Uji XRD.....	69
Gambar 4.9	Pengaruh Konsentrasi NaCl pada temperatur 50° C terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B	71
Gambar 4.10	Pengaruh Konsentrasi NaCl pada temperatur 60° C terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B	72
Gambar 4.11	Pengaruh Konsentrasi NaCl pada temperatur 70° C terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B	73

Gambar 4.12	Pengaruh temperatur pada konsentrasi 0 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B	74
Gambar 4.13	Pengaruh temperatur pada konsentrasi 150 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B.....	75
Gambar 4.14	Pengaruh temperatur pada konsentrasi 300 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B.....	76
Gambar 4.15	Pengaruh temperatur pada konsentrasi 450 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B.....	77
Gambar 4.16	Perbandingan laju korosi di berbagai konsentrasi NaCl dan temperatur fluida dalam.....	78
Gambar 4.17	Kondisi permukaan alumunium foil sebelum dan sesudah perendmana.....	82
Gambar 4.18	Skema terjadinya CUI pada pipa.....	83

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Derajat Laju Korosi	13
Tabel 2.2 Hubungan Laju Korosi dengan Konstanta	14
Tabel 2.3 Resiko Terjadinya CUI	22
Tabel 2.4 <i>Moisture Resistance of Insulation Materials</i>	28
Tabel 2.5 CUI <i>simulation phase I and II</i>	37
Tabel 2.6 Hasil <i>weight loss</i> pada 65°C	40
Tabel 2.7 Hasil <i>weight loss</i> pada 121°C	40
Tabel 3.1 Spesifikasi Pipa Baja Karbon	48
Tabel 3.2 Komposisi Pipa Baja Karbon	48
Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Coating Epoxy Jotamastic</i>	50
Tabel 3.4 Spesifikasi PTFE	51
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Pyrogel XT</i>	52
Tabel 3.6 Rancangan Penelitian	59
Tabel 4.1 Hasil Uji <i>weight loss</i> pada temperatur 50°C	70
Tabel 4.2 Hasil Uji <i>weight loss</i> pada temperatur 60°C	71
Tabel 4.3 Hasil Uji <i>weight loss</i> pada temperatur 70°C	72
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>weight loss</i> pada 0 ppm NaCl	73
Tabel 4.5 Hasil Uji <i>weight loss</i> pada 150 ppm NaCl	74
Tabel 4.6 Hasil Uji <i>weight loss</i> pada 300 ppm NaCl	75
Tabel 4.7 Hasil Uji <i>weight loss</i> pada 450 ppm NaCl	76
Tabel 4.8 Presentase laju korosi pada temperatur 50°C	79
Tabel 4.9 Presentase laju korosi pada temperatur 60°C	79
Tabel 4.10 Presentase laju korosi pada temperatur 70°C	80
Tabel 4.11 Presentase laju korosi pada 0 ppm NaCl	80
Tabel 4.12 Presentase laju korosi pada 150 ppm NaCl	80
Tabel 4.13 Presentase laju korosi pada 300 ppm NaCl	81
Tabel 4.14 Presentase laju korosi pada 450 ppm NaCl	81
Tabel 4.15 Hasil perhitungan konduktivitas termal dan temperatur tiap lapisan sistem CUI	82

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi atau pengkaratan adalah suatu proses alami yang pasti dialami oleh semua material logam dikarenakan bereaksi dengan lingkungannya. Korosi menjadi masalah utama dalam dunia industri terutama industri peminyakan, gas, *refining* dan kimia. Berdasarkan pengeluaran nasional dalam perlindungan korosi bahwa biaya yang diperlukan sebanyak 2.1% pendapatan bruto nasional. Pada tahun yang 1998 studi yang sama telah dikembangkan di Amerika dengan teknologi CC bekerja sama dengan *National Association of Corrosion Engineers International (NACE)* dengan hasil perhitungan biaya sekitar \$276 milyar atau sebesar 3.1% pendapatan produk nasional.(McIntyre,2003)

Corrosion Under Insulation (CUI) menjadi masalah utama dalam dunia industri kimia dan pengeboran minyak lepas pantai (*offshore*) sejak tahun 1970 ketika krisis minyak menyebabkan kenaikan biaya sumber energi dan penggunaan sistem insulasi yang menjadi sebuah keharusan dikarenakan beberapa faktor. Dalam beberapa kasus, CUI mewakili lebih dari sepertiga kegagalan korosi dan kegagalan di industri kimia dan industri minyak. Pada bulan September 2003, sebuah penelitian yang dilakukan oleh *Exxon Mobile Chemical* menunjukkan bahwa penyebab utama kebocoran pada industri kimia dan industri minyak disebabkan oleh CUI dan 81% kebocoran pipa ditemukan dalam diameter yang lebih kecil dari 4 inci.

Mayoritas peralatan pengeboran minyak lepas pantai memiliki umur desain 25 tahun dengan perpanjangan umur potensial 20 tahun lagi. CUI merupakan ancaman yang tak terelakkan bagi fasilitas lepas pantai, lingkungan dan karyawan, terutama pada struktur lama yang telah berusia lebih dari 10 tahun beroperasi. Jaket pelindung akan kehilangan kemampuan untuk melindungi insulasi dari kondisi di luar ruangan dan dengan demikian insulasi menjadi basah. Air, oksigen, dan kontaminan



korosif lainnya dapat mencapai logam terinsulasi, oleh karena itu CUI yang parah dapat terjadi.

CUI adalah fenomena terjadinya korosi di permukaan pipa yang telah dilapisi oleh suatu material insulasi. Faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya CUI adalah seperti adanya impuritas dalam insulasi, adanya kondensasi yang menyebabkan kelembaban di dalam insulasi atau kesalahan pada insulasi yang menyebabkan masuknya fluida dari luar kedalam insulasi (NACE SP0198, 2010). Insulasi pada pipa ini dibutuhkan untuk mencegah terjadinya *heat loss* yang besar. Selain itu insulasi juga berguna sebagai pelindung bagi pekerja di lingkungan industri karena temperatur fluida yang mengalir didalam pipa cukup tinggi sehingga membahayakan. Pada dunia industri hal yang paling utama adalah efisiensi biaya produksi dan keselamatan baik keselamatan produksi maupun para pekerjanya. Maka insulasi merupakan salah satu cara yang digunakan pada pipa yang beroperasi pada temperatur tinggi (Sherwin, 1995).

Dari pemaparan masalah di atas penelitian ini dirasa perlu dilakukan. Agar dapat mengetahui lebih dalam mengenai CUI dan meminimalkan risiko yang terjadi. Pada penelitian kali ini dilakukan variasi temperatur fluida dalam pipa dan variasi jenis lingkungan terhadap karakteristik CUI bagian luar pipa terinsulasi bahan *silica aerogel* dan aluminium foil serta menggunakan *coating* PTFE yang selanjutnya akan dianalisa dengan berbagai pengujian. Variasi temperatur fluida dalam pipa yang digunakan adalah 50°C, 60°C dan 70°C dengan jenis lingkungan luar berupa variasi kandungan klorin (Cl⁻)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur fluida dalam pipa terhadap karakteristik CUI di permukaan luar pipa terinsulasi bahan *silica aerogel*, *coating* PTFE dan aluminium foil.



2. Bagaimana pengaruh variasi jenis lingkungan luar terhadap karakteristik CUI di permukaan luar pipa terinsulasi bahan *silica aerogel*, *coating* PTFE dan aluminium foil.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pelapisan *coating* PTFE dianggap merata dan memenuhi standar.
2. Temperatur pada fluida dalam pipa dan lingkungan dianggap konstan tidak ada perubahan.
3. Pengaruh *impurities* pada bahan insulasi dan *coating* diabaikan.
4. Insulasi berbahan *silica aerogel* dan aluminium foil terhadap pipa dianggap telah memenuhi standar.
5. pH lingkungan luar dianggap konstan

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh variasi temperatur fluida dalam pipa terhadap karakteristik CUI permukaan luar pipa terinsulasi bahan *silica aerogel*, *coating* PTFE dan aluminium foil.
2. Menganalisa pengaruh variasi jenis lingkungan luar terhadap karakteristik CUI permukaan luar pipa terinsulasi bahan *silica aerogel*, *coating* PTFE dan aluminium foil.

1.5 Manfaat

Hasil dari penelitian yang akan dilakukan ini diharapkan mampu memberi manfaat sebagai berikut:

1. Diketahui pengaruh temperatur dalam pipa dan jenis lingkungan luar pada karakteristik CUI pada permukaan luar pipa terinsulasi bahan *silica aerogel*, *coating* PTFE dan aluminium foil.
2. Memahami lebih dalam tentang fenomena CUI.
3. Mengetahui pengaruh temperatur fluida dalam pipa dan jenis lingkungan luar yang optimal untuk menghindari CUI.



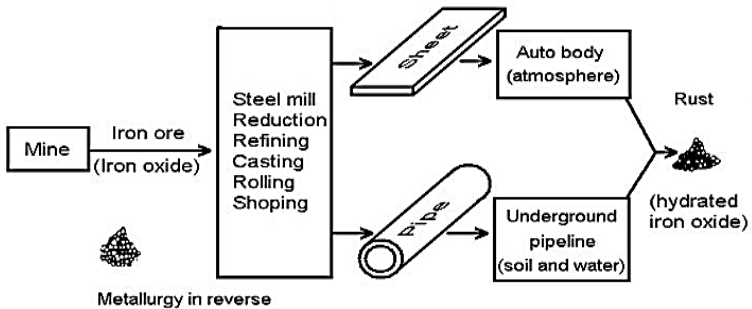
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

B AB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

2.1.1 Definisi Korosi

Korosi dapat diartikan sebagai perusakan suatu material karena bereaksi dengan lingkungannya. Reaksi ini menghasilkan oksida logam, sulfida logam dan hasil reaksi lainnya. (Sulistijono,1999). Korosi didefinisikan sebagai penghancuran atau penurunan kualitas material karena bereaksi dengan lingkungannya. Beberapa ahli berpendapat bahwa definisi tersebut harus dibatasi pada logam, namun seringkali para insinyur korosi harus mempertimbangkan logam dan non logam untuk masalah tertentu. Misalnya, penurunan kualitas cat dan karet oleh sinar matahari atau kimiawi, dianggap sebagai korosi.



Gambar 2.1 *Metallurgy in reserve* (Nagaiyar,2001).

Pada Gambar 2.1 dijelaskan bahwa proses reaksi korosi juga dapat disebut sebagai siklus dari suatu baja itu sendiri, karena sebagian besar biji besi mengandung oksida di dalamnya, dan baja atau besi ketika mengalami proses korosi oleh air dan oksigen akan menghasilkan produk korosi berupa oksida. Oleh karena itu reaksi korosi bisa dikatakan sebagai reaksi kebalikan dari suatu besi atau baja.



2.1.2 Prinsip Dasar Korosi

Korosi adalah suatu proses penurunan kualitas material yang terjadi secara alami karena bereaksi dengan lingkungan, baik secara kimiawi ataupun elektrokimia (Byars,1999). Pada dasarnya semua lingkungan memiliki sifat korosif (Fontana,1987).

Mekanisme korosi dapat dijelaskan dengan sebuah proses elektrokimia. Dibawah ini menjelaskan proses korosi dari sebuah baja ketika direndam dalam air beroksigen: (Hilchie,1990):

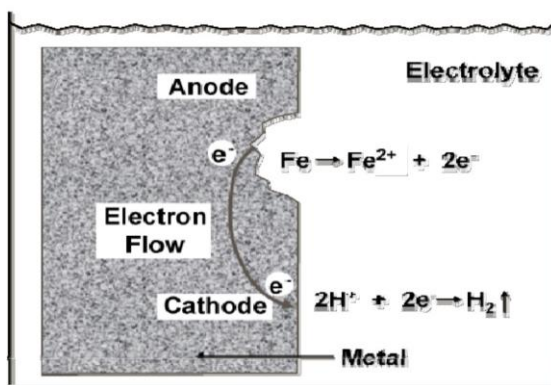
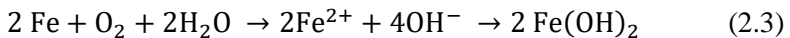
Reaksi di Anoda



Reaksi di Katoda



Reaksi total



Gambar 2.2 Skema Dasar Proses Korosi (Revie,2008)

Mekanisme korosi dapat diilustrasikan pada Gambar 2.2. Reaksi Korosi terdiri dari empat elemen antara lain: anoda, katoda, kontak metalik dan elektrolit. Suatu logam dapat berperan menjadi katoda atau anoda tapi dapat juga dalam logam tersebut terbentuk daerah anoda dan daerah katoda dalam satu logam yang sama. Korosi tidak akan terjadi dengan tidak adanya salah satu dari empat komponen (Byars,1999)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Anoda adalah daerah permukaan logam yang mengalami penurunan kualitas dan melepaskan elektron. Reaksi anoda juga disebut oksidasi yang berarti hilangnya elektron (Bradford). Katoda adalah bagian logam yang tidak terjadi korosi dan menerima elektron yang dihasilkan pada anoda (Byars,1999). Selama proses korosi, elektron mengalir dari daerah anoda ke daerah katoda. Sedangkan arus mengalir dari katoda menuju anoda. Proses korosi dapat terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi (Jones,1992) sebagai berikut:

1. Logam atau material

Didalam logam atau material itu sendiri terdapat 2 komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu:

a. Anoda

Anoda adalah tempat terjadinya reaksi oksidasi dimana ion negatif terkumpul. Anoda dapat di definisikan sebagai bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Anoda sendiri biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang berikatan. Reaksi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut



b. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi dengan menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan O_2 dan reduksi O_2

- Pelepasan H_2 dalam larutan asam dan netral.

Evolusi hidrogen / larutan asam:



Reduksi air / larutan netral /basa:



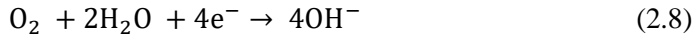
- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral

Reduksi oksigen / asam:

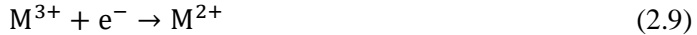




Reduksi oksigen / netral atau basa:



➤ Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif

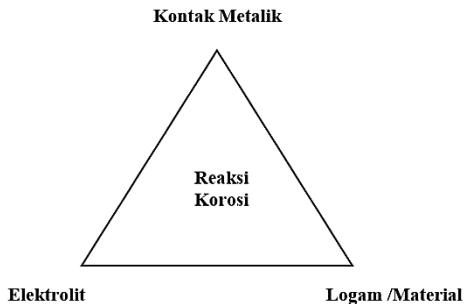


2. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik

3. Kontak Metalik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Syarat Terjadinya Reaksi Korosi (Revie,2008)

2.1.3 Faktor Penyebab Korosi

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi laju korosi secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu aspek lingkungan dan aspek metalurgi.

a) Aspek Lingkungan

Lingkungan atau media korosif pada logam sangat menentukan laju korosi pada suatu logam. Media korosif ini dapat digolongkan dalam 3 bentuk yang mungkin, yaitu berupa



gas, cairan (air, larutan asam, dll) atau padatan (tanah, mineral, dll).

- Kelembapan Relatif

Logam dilindungi udara mengalami korosi karena adanya uap air dipermukaannya akibat dari proses pengembunan. Pengembunan di permukaan logam membentuk kolam-kolam elektrolit penyebab korosi. Kelembapan relatif yang dianjurkan adalah sekitar 30% - 40%, itupun bila ada sisa produk korosi yang menempel pada permukaan logam, maka karat tersebut akan menyerap uap air sehingga ditempat tersebut menjadi lembab dan laju korosi meningkat.

- Temperatur

Kenaikan temperatur akan menyebabkan naiknya laju korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi temperatur maka energi kinetik dari partikel-partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya. Biasanya setiap kenaikan 10°C akan meningkatkan laju korosi hampir dua kali lipat. Penurunan temperatur dibawah titik embun (*dew point*) menyebabkan udara menjadi uap air jenuh sehingga memungkinkan terjadinya titik embun pada permukaan logam dan terjadi korosi lokal.

- pH

Peranan pH di media korosif adalah mengubah reaksi katodik. Harga pH lebih besar sama dengan 7 menyebabkan reaksi katodik yang terjadi adalah reduksi oksigen. Bila pada katoda kekurangan oksigen maka reaksi akan diperlambat sehingga reaksi oksidasi (reaksi korosi) juga diperlambat. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada didalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena merupakan reaksi anoda.



Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda.

- **Konsentrasi Oksigen**

Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi. Oksigen menyebabkan efisiensi reaksi katodik, sehingga apabila laju reaksi katodik meningkat, maka laju reaksi anodik (korosi) juga meningkat karena pada reaksi redoks laju reduksi sama dengan oksidasi. Distribusi oksigen dalam media korosif yang tidak merata seperti misalnya bila tingkat kelarutan oksigen disetiap bagian berbeda, maka korosi aerasi diferensial (korosi celah dan sumuran) dapat terjadi.

- **Bahan Pengotor dan Komposisi Media**

Bahan pengotor dimedia korosif bisa berupa karbondioksida (CO_2), sulfurdioksida (SO_2), sulfurtrioksida (SO_3), senyawa nitrat asam asam belerang, ion-ion ammonium dan ion-ion klorida, dll. Bahan pengotor bersifat mempercepat laju korosi karena menurunkan pH (menaikkan derajat keasaman) media korosif.

- **Keberadaan Bakteri dalam Media Korosif**

Bakteri aerob dan anaerob tery (*spore vibrio desulfuricant*) memegang peranan yang cukup penting dalam korosi logam paduan misalnya koloni bakteri pereduksi sulfat mempengaruhi korosi di lingkungan air yang mengandung sulfat. Bakteri tersebut mengkonsumsi sulfat (SO_4) dan mengeluarkannya dalam bentuk reduksi sulfat seperti H_2S yang menyebabkan media pada lokasi tertentu menjadi lebih asam dan menyebabkan korosi lokal akibat reaksi



antara H_2S dengan Fe membentuk FeS yang berwarna hitam dan menimbulkan dinding kebocoran, korosi yang demikian itu disebut *Bio-Corrosion*.

- Kecepatan Elektrolit

Laju korosi dipengaruhi pula oleh laju aliran media korosif. Secara umum laju korosi meningkat seiring dengan laju media korosif kecuali untuk beberapa kondisi media korosif yang dikontrol polarisasi aktivasi. Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion-ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan (korosi).

- Efek Potensial Media

Logam yang berada di media korosif yang tidak homogen akan mengalami korosi akibat dari perbedaan potensial media, dimana media memiliki potensial lebih rendah akan menerima aliran arus ion dari media yang potensialnya lebih tinggi.

b) Aspek Metalurgi

- Struktur Kristal

Metal yang memiliki sistem kristal yang tidak sama akibat dari perbedaan fase yang ada dalam metal tersebut akan menyebabkan korosi pada *interface* karena potensial antara fase yang satu dan yang lain tidak sama. Mekanisme korosi ini identik dengan mekanisme korosi galvanik.

- Pengotor (*Impurities*)

Korosi lokal akan dimulai pada permukaan dari logam yang heterogen. Biasanya untuk suatu logam ataupun *alloy* (paduan logam) pengaruh heterogenitas logam terhadap korosi lokal yang timbul, sengaja diperkecil.



- Batas Butir Kristal
Pada hal-hal yang spesifik maka logam ataupun paduannya memerlukan pengamanan terhadap faktor-faktor metalurgi ini. Sebagai contoh untuk suatu baja anti karat (*Stainless Steel*) dengan kadar Krom 18% Nikel 8% bila dilakukan *treatment* penurunan temperatur secara lambat pada temperatur austenite maka akan muncul suatu karbida yang tumbuh dibatas kristalnya yang menyebabkan mudah terjadinya korosi batas butir.
- Tegangan Dalam
Tegangan dalam yang bersifat lokal pada material akan menyebabkan korosi lokal, yaitu daerah yang terdapat tegangan yang lebih tinggi secara kimia akan lebih aktif, sehingga lebih mudah beraksi dengan lingkungannya.

2.1.4 Pengukuran Laju Korosi

Laju korosi adalah banyaknya logam yang terlepas dari logam tiap satu satuan waktu dari permukaan logam tersebut. Metode kehilangan berat (*weight loss*) adalah metode paling sederhana dan paling mudah daripada semua metode pengukuran laju korosi yang lain. Dalam metode ini dimensi awal seperti panjang, diameter dan berat spesimen diukur secara akurat. Kemudian spesimen ditanam dalam media korosif selama beberapa hari. Spesimen akan mendapatkan reaksi dengan lingkungan pada durasi tertentu sehingga spesimen akan mengalami kehilangan berat. Setelah durasi paparan tertentu spesimen dikeluarkan dari media korosif kemudian dibersihkan dan ditimbang.

Dengan perhitungan laju korosi, akan didapatkan estimasi umur pakai dari suatu material. Laju korosi pada umumnya menggunakan satuan *miles per year (mpy)*. Nilai dari 1 *mils* setara dengan 0,001 *inch*. Berikut ini adalah perbandingan laju korosi dari berbagai macam satuan. Semakin tinggi nilai laju korosi, maka korosi yang terjadi akan semakin cepat. (Jones, 1996).



Tabel 2.1 Derajat Laju Korosi (Jones, 1996)

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>Mpy</i>	<i>mm/yr</i>	<i>μm/yr</i>	<i>nm/yr</i>	<i>pm/s</i>
<i>Outstanding</i>	<1	<0.02	<25	<2	<1
<i>Excelent</i>	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	20-50
<i>Fair</i>	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi} = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.10)$$

Dimana:

K = konstanta (mpy = 3.45×10^6)

W = kehilangan berat (gram)

D = densitas (gram/cm³)

A = luas permukaan yang terendam (cm²)

T = waktu (jam)

Dengan Pengkonversian unit satuan laju korosi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Tabel 2.2 Hubungan laju Korosi dengan Faktor Konstantanya (ASTM G31-72)

<i>Desired Corrosion Rate Unit (CR)</i>	<i>Area Unit (A)</i>	<i>K-Faktor</i>
<i>Mils/years(mpy)</i>	<i>In²</i>	<i>5.44 x 10⁶</i>
<i>Mils/years(mpy)</i>	<i>cm²</i>	<i>3.45 x 10⁶</i>
<i>Milimeters/years(mmpy)</i>	<i>cm²</i>	<i>8.75 x 10⁴</i>

2.1.5 Jenis Jenis Korosi

Korosi yang menyerang logam terdapat berbagai jenis berdasarkan jenis kerusakan yang dihasilkan dan morfologinya. Terdapat delapan jenis korosi yang menyerang logam, yaitu adalah sebagai berikut: (Fontana, 1987)

1. Korosi Merata (*Uniform*)
2. Korosi Galvanik
3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)
4. Korosi Sumuran
5. Korosi Batas Butir
6. Korosi Erosi
7. *Stress Corrosion Cracking (SCC)*
8. *Dealloying (selective leaching)*

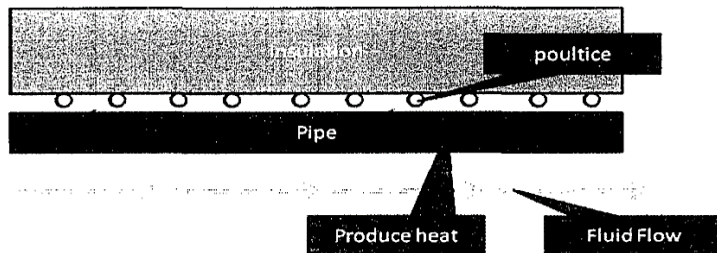
2.2 *Corrosion Under Insulation (CUI)*

2.2.1 Definisi CUI

CUI merupakan penurunan kualitas material yang terjadi di antara material logam dengan material insulasi. Biasanya alat-alat yang diinsulasi berupa perpipaan dan *pressure vessel*. CUI dapat terjadi ketika peralatan tersebut dilakukan insulasi yang insulasi ini dilakukan untuk tujuan seperti konversi energi, proses control dan *thermal protection*. Faktor utama yang menyebabkan terjadinya CUI adalah karena masuknya air ke dalam sistem insulasi sehingga menyebabkan kelembapan. Masuknya air dari



luar ke dalam sistem insulasi dapat terjadi karena adanya celah diakibatkan oleh kerusakan sistem insulasi. Faktor lain yang menyebabkan terjadinya CUI adalah berasal dari air yang dihasilkan oleh proses kondensasi. Adanya air dalam sistem insulasi menyebabkan naiknya kelembapan dalam sistem tersebut. Proses kondensasi terjadi karena perbedaan temperatur antara bagian dalam sistem insulasi dengan lingkungan luar. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.4.

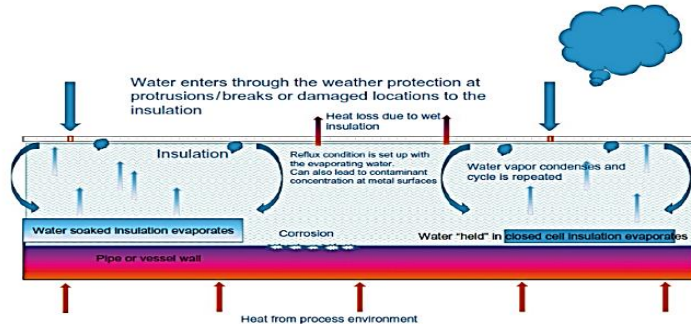


Gambar.2.4 Mekanisme adanya *internal water* (Uhlig's, 2011)

Pemasangan dan pemeliharaan sistem insulasi yang tidak sesuai standar akan menyebabkan air masuk kedalam insulasi sehingga menyebabkan terjadinya CUI. *Coating* yang diaplikasikan ke bagian alat yang diinsulasi yang berfungsi sebagai pelindung *thermal barrier coating* juga bisa mengalami cacat akibat dari *temperatur fluida* yang terlalu tinggi atau bisa juga disebabkan oleh pelapisan yang tidak sesuai standar akan menyebabkan terjadinya CUI. (Nancy).

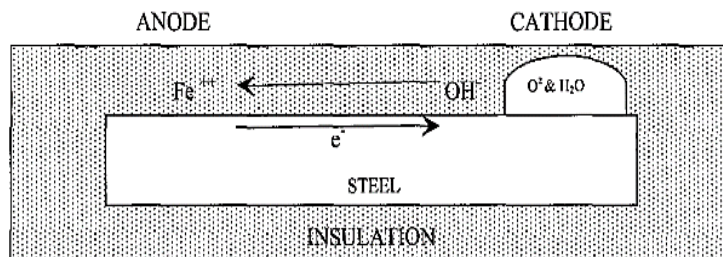
2.2.2 Mekanisme CUI

Korosi yang terjadi pada pipa yang terinsulasi ini diawali dengan adanya air yang masuk atau terperangkap pada suatu titik dimana adanya insulasi yang rusak yang menyebabkan pipa tidak tertutup sempurna, air tersebut terperangkap dan menyebabkan faktor utama terjadinya CUI.



Gambar 2.5 Mekanisme Terjadinya Korosi (Winnik. 2016)

Pada Gambar 2.5 dijelaskan bahwa pada keadaan normal, saat temperatur meningkat, jumlah oksigen yang terdapat di bawah insulasi akan berkurang dan akan menyebabkan kelembaban yang relative tinggi sehingga terjadi pengembunan pada celah antara dua permukaan tersebut. Sehingga bagaimana pun bentuk yang terjadi dibawah insulasi akan memberikan peluang terjadinya proses korosi akibat perbedaan konsentrasi kondisi material baja, dan proses korosinya akan lebih meningkat jika adanya unsur-unsur yang bersifat korosif seperti *chloride* dan asam belerang dari udara yang berdifusi melalui celah-celah insulasi. Sehingga unsur-unsur yang bersifat korosif tersebut sangat dominan dalam meningkatkan laju korosi dengan proses sesuai dengan karakteristik material tersebut. (Kumar, 2008)

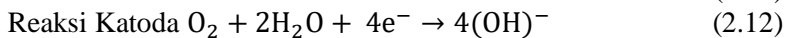
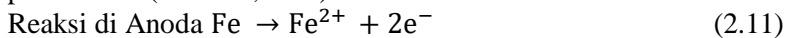


Gambar.2.6 Ilustrasi mekanisme CUI (Uhlig's,2011)

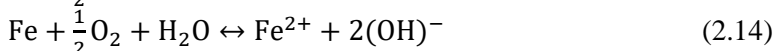
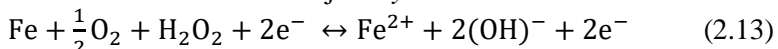


Pada Gambar 2.6 dijelaskan bahwa uap CUI ini akan menjadi lebih cepat karena uap air akan terus terperangkap tanpa terjadinya penguapan karena terhalang oleh insulasi, selain itu insulasi ini juga dapat menyebarkan atau mengalirkan uap air ke lokasi lain sehingga korosi menyebar secara lebih cepat.

CUI adalah reaksi elektrokimia yang terjadi karena pergerakan ion bermuatan listrik antara anoda dan katoda melalui cairan yang ada di pori-pori insulasi. Logam dasar yang biasanya berupa baja karbon juga bisa menimbulkan korosi dengan cara elektrokimia. Pada CUI mekanisme korosi sama seperti korosi elektrokimia. Pada CUI membutuhkan 4 komponen antara lain: anoda, katoda, elektrolit dan juga kontak metalik. Hasil korosi logam dasar terdapat di anoda. Besi metalik dari baja dioksidasi untuk menghasilkan ion ferrous dan elektron dilepaskan menurut persamaan: (Fontana,1987)



Arus listrik dan arus elektron bergerak antara anoda dan katoda melalui media yang disebut dengan elektrolit. Pada kasus CUI yang bertindak sebagai elektrolit adalah pori-pori yang ada dalam material insulasi yang mengandung air. Elektrolit akan membentuk lingkungan yang korosif karena terjadinya proses kondensasi dari udara luar. Gabungan proses oksidasi dan reduksi merubah *metallic iron* menjadi *hydroxide*



2.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi CUI

Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi terjadinya CUI, antara lain sebagai berikut:

1. Sumber Elektrolit

Elektrolit dalam masalah CUI biasanya berupa fluida berupa air. Sumber air yang mempengaruhi CUI dibedakan menjadi 2 jenis yaitu air yang berasal dari luar



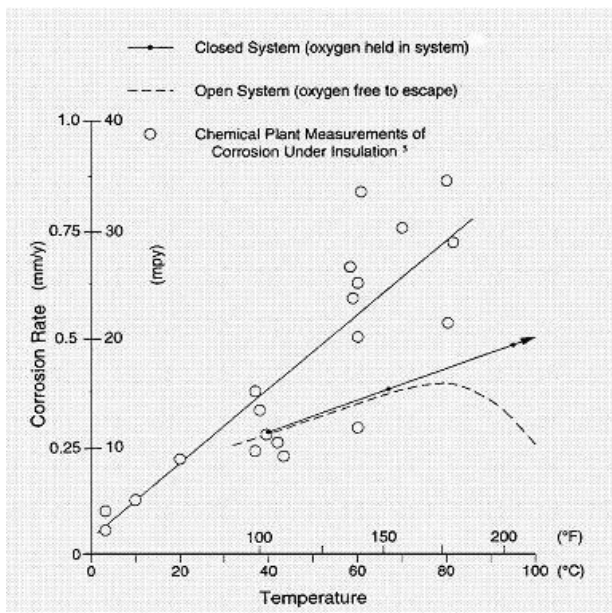
(*eksternal*) dan air yang berasal dari dalam insulasi (*internal*). Air dapat masuk dari lingkungan luar ke sistem insulasi berasal dari air hujan, uap, *spray fire sprinklers* atau dari *cooling tower*. Air yang berasal dari luar ini dapat masuk ke dalam sistem insulasi melalui kerusakan pada sistem insulasi. Kondensasi terjadi ketika temperatur permukaan baja lebih rendah dibanding titik embun di lingkungan atmosfer dan menyebabkan munculnya air pada sistem insulasi.

2. Temperatur

Temperatur berpengaruh dalam terjadinya CUI. Temperatur operasi yang tinggi menyebabkan semakin cepatnya kerusakan pada lapisan *coating*. Berdasarkan eksperimen menunjukkan bahwa baja karbon akan mengalami risiko CUI pada temperatur $-4^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$. Perbedaan temperatur antara pipa dengan lingkungan juga menyebabkan semakin cepatnya proses kondensasi yang pada akhirnya meningkatkan laju korosi.

Pada Gambar 2.7 dapat dilihat hubungan antara temperatur dan laju korosi, pembagiannya lebih ditujukan pada perbedaan sistemnya yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Lebih jelasnya maka dapat dilihat pada keterangan dibawah:

1. Sistem terbuka: Seiring kenaikan temperatur maka laju korosi akan meningkat namun akan kembali menurun karena air yang tersisa akan menguap dan hilang ke lingkungan luar sehingga insulasi menjadi kering dan minim elektrolit.
2. Sistem tertutup: Seiring kenaikan temperatur maka laju korosi akan terus meningkat karena air yang tersisa akan menguap dan dan terperangkap lagi kedalam sistem insulasi. Hal ini terjadi karena sistem dilengkapi oleh penutup.



Gambar.2.7 Efek temperatur terhadap laju korosi pada sistem terbuka dan tertutup (ASTM G189-07)

3. Desain Sistem Insulasi

Perancangan peralatan dan perpipaan adalah tahapan penting dari sistem insulasi. Bentuk, geometri, dan orientasi bisa memungkinkan uap air atau air hujan untuk menembus insulasi dan berkonsentrasi pada titik tertentu. Kegagalan pada sambungan dalam insulasi dapat menyebabkan kemampuan sistem insulasi untuk menjadi penghalang dari lingkungan dan penghalang uap rusak. Hal ini memungkinkan masuknya air ke dalam insulasi dan menyebabkan korosi (Jaico,2003)

4. Bahan Insulasi

Pemilihan material insulasi yang tidak tepat dan tidak memenuhi persyaratan akan berakibat pada cepat rusaknya peralatan yang diinsulasi dan kegagalan tak terduga. Material insulasi dengan permeabilitas yang

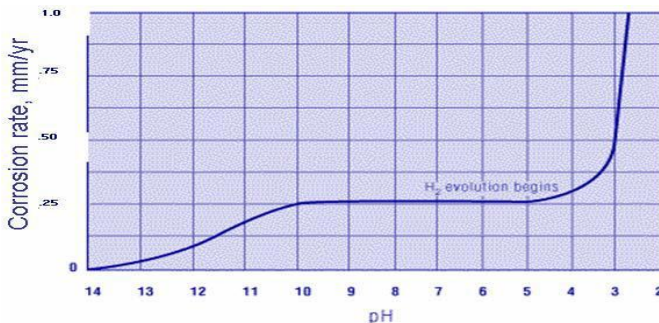


tinggi seperti kalsium silikat dan serat mineral memungkinkan terjadinya korosi pada permukaan logam dasarnya.

Material insulasi yang memiliki permeabilitas paling rendah dan mengering paling cepat merupakan material insulasi yang paling bagus untuk mencegah terjadinya korosi. Beberapa bahan insulasi juga mengandung senyawa yang dapat larut dalam air seperti klorida dan sulfat yang dapat meningkatkan laju CUI. (NACE,2010).

5. Pengaruh pH

Komposisi kimia dari elektrolit air dapat meningkatkan laju korosi yang ada di dalam insulasi. Larutan asam dapat menyebabkan korosi pada baja karbon berupa *uniform corrosion* dan *pitting corrosion*. Sedangkan pada baja tahan karat, adanya tegangan tarik, temperatur melebihi 60°C dan tingkat pH air yang asam dapat menyebabkan *stress corrosion cracking* (Posteraro,1999). Air hujan normal memiliki tingkat pH di dekat 5,6. Namun di daerah industri yang tercemar, air hujan bisa mencapai tingkat pH serendah 3,0. Hujan asam menjadi masalah berat dan akan memperbesar tingkat korosi jika berdifusi ke dalam insulasi. Tetesan kabut juga bisa memiliki keasaman tinggi. pH kelembapan kabut bisa mencapai 2,2 di daerah dengan tingkat polusi udara yang tinggi (Schweitze,2006). Gambar 2.8. menunjukkan pengaruh pH terhadap laju korosi besi dalam air soda pada temperatur kamar.



Gambar.2.8 Pengaruh ph terhadap laju korosi pada baja (Hills,2004)

6. Lapisan *Coating*

Fungsi lapisan pelindung atau *coating* adalah untuk mencegah lingkungan yang korosif untuk berinteraksi secara langsung dengan substrat baja yang nantinya akan mendasari dan memulai adanya korosi. Untuk mengatasi masalah tersebut maka diperlukan suatu lapisan pelindung. Lapisan ini harus memiliki beberapa sifat penting seperti tahan terhadap air dan kontaminan dari lingkungan sehingga tidak kontak secara langsung dengan baja. Beberapa sifat yang penting antara lain: ketahanan terhadap air, tahan temperatur tinggi, permeabilitas, tahan cuaca, kemudahan aplikasi, densitas, resistensi, adhesi yang baik, dan ketahanan abrasi (NACE,2010).

7. Pengaruh adanya ion Cl^- dalam sistem insulasi

Baja karbon dan paduan biasanya pasif dalam lingkungan yang memiliki ph antara 7-11. Namun, ion klorida (Cl^-) cenderung merusak lapisan pasif ini secara lokal dan menginisiasi adanya *pitting corrosion*. Klorida ini berasal dari bahan insulasi itu sendiri maupun dari sumber luar seperti hujan (NACE,2010)

2.2.4 Risiko CUI

Risiko terjadinya CUI pada temperatur kerja pipa 50°C sampai dengan 175°C lebih besar dari pada temperatur kerja lainnya dengan kondisi yang sama. Risiko terjadinya CUI juga



semakin besar dengan meningkatnya adanya kemungkinan insulasi bocor dan menyebabkan air dan udara masuk ke dalam insulasi dan beraksi dengan pipa. (NACE,2010). Untuk mengetahui resiko terjadinya korosi berdsarkan temperatur operasinya dapat dilihat pada table 2.3.

Tabel 2.3 Risiko terjadi CUI (NACE,2010)

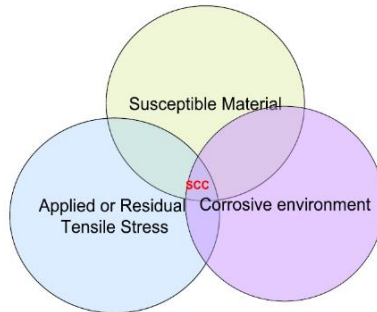
Temperatur Operasi	Resiko CUI
$< -5^{\circ}\text{C}$ (25°F)	<i>Low</i>
$> 175^{\circ}\text{C}$ (347°F)	<i>Low</i>
-5 to 49°C (25 to 121°F)	<i>Medium</i>
50 to 175°C (122 to 347°F)	<i>High</i>
<i>Cycling temperatur between -20 and 320°C (-4 and 608°F)</i>	<i>Extreme</i>

2.2.5 Jenis korosi pada CUI

Produk korosi dan jenis-jenis korosi yang dihasilkan oleh pipa baja yang terinsulasi bermacam-macam jenisnya. Hal ini dipengaruhi oleh material pipa, lingkungan dan material insulasi dan lain-lain. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya telah didapatkan jenis-jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa yang dilakukan insulasi, diantaranya adalah (Caines, 2014):

1. *Stress Corrosion Cracking (SCC)*

Stress Corrosion Cracking adalah peristiwa pembentukan dan perambatan retak dalam logam yang terjadi secara simultan antara tegangan tarik yang bekerja pada bahan tersebut dengan lingkungan korosif. Proses korosi retak tegang (SCC) dapat terjadi dalam beberapa menit jika berada pada lingkungan korosif atau beberapa tahun setelah pemakaiannya.



Gambar 2.9 Penyebab *stress corrosion cracking*
(Delahunt,2003)

Stress Corrosion Cracking merupakan masalah di banyak industri dan lingkungan. Semua bentuk SCC tergantung pada kehadiran tiga faktor seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. SCC dibawah insulasi adalah masalah di lingkungan laut (Delahunt, 2003) (Winnik, 2008). Mereka menemukan bahwa kandungan klorida pada pipa lepas pantai dengan waktu berkontribusi pada rentan terciptanya SCC lingkungan laut (Al-Subai, 2006).

2. Korosi Seragam/ *Uniform Corrosion*

Korosi merata adalah jenis korosi dimana pada korosi tipe ini laju korosi yang terjadi pada seluruh permukaan logam atau paduan yang terpapar atau terbuka ke lingkungan berlangsung dengan laju yang hampir sama. Hampir seluruh permukaan logam menampakkan terjadinya proses korosi. Korosi merata sering terjadi pada material yang tidak memiliki lapisan pasif atau lapisan pelindung.

3. Korosi sumuran / *Pitting Corrosion*

Pitting Corrosion adalah bentuk korosi lokal di mana terjadi kehilangan logam dalam bentuk lubang dengan penampang relatif kecil untuk permukaan terbuka secara keseluruhan. Penetrasi bisa begitu besar sehingga dinding dapat benar-benar berlubang



sehingga terjadi kebocoran. Material yang sering terjadi *pitting corrosion* adalah material yang dilapisi atau secara alami dilindungi seperti *Stainless Steel*.

4. Korosi Akibat Mikrobiologi (MIC)

MIC merupakan korosi yang disebabkan oleh mikro organisme dapat berupa bakteri, jamur atau alga. Dalam bio-korosi, mikroorganisme dapat berperan secara aktif maupun secara pasif dalam menyebabkan korosi. Pada bio-korosi aktif kehadiran mikro organisme menyebabkan terjadinya reaksi korosi atau mempercepat adanya reaksi korosi, bio-korosi dipengaruhi oleh pH, temperatur, laju aliran fluida, konsentrasi oksigen, polarisasi elektroda, konduktivitas elektrolit. Selain itu faktor tempat seperti lingkungan asam dan kehadiran amonia merupakan faktor lain yang mempengaruhi terjadinya bio-korosi.

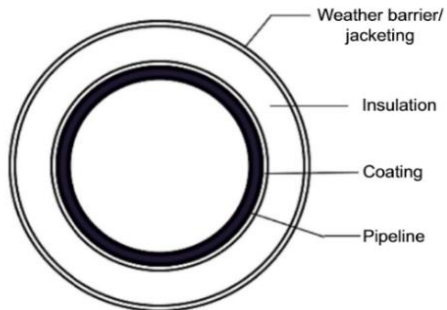
Pada bio-korosi passif, kehadiran mikro-organisme baik yang telah mati atau masih hidup menyebabkan perubahan laju aliran pada fluida yang menginduksi adanya erosi korosi. Bio-korosi passif dapat pula terjadi melalui dekomposisi mikroorganisme yang telah mati yang menyebabkan timbulnya gas hidrogen yang berkontribusi pada timbulnya *hidrogen embrittlement*, atau matinya mikroorganisme menyebabkan timbulnya gas amonia pada daerah tertentu yang berkontribusi pada percepatan laju korosi.

2.3 Sistem Insulasi

Sistem insulasi dikenal sebagai bahan atau kombinasi material yang berfungsi untuk mengurangi perpindahan panas dari material seperti fluida ke daerah yang lebih dingin seperti pipa dan lingkungan. Pergerakan panas dapat terjadi dalam mode yang berbeda: konduksi, radiasi, konveksi atau kombinasi keduanya (Barnhart,1985). Istilah insulasi termal biasanya berlaku untuk



sistem insulasi yang digunakan pada peralatan yang temperatur kerjanya berkisar antara -75°C sampai 815°C . Bahan insulasi yang digunakan pada peralatan yang bekerja pada temperatur di bawah -75°C disebut kriogenik dan yang di atas 815°C disebut *refractory* (Watson,2005).



Gambar.2.10. *Cross Section* sebuah pipa terinsulasi (Sherwin,1995)

Pada Gambar 2.10 merupakan penampang melintang dari sebuah sistem pipa terinsulasi. Dalam beberapa tahun terakhir, industri insulasi telah mengembangkan bahan insulasi yang lebih baik untuk memastikan konservasi energi yang efektif. Penggunaan insulasi berkontribusi dalam mengurangi kebutuhan energi dari setiap sistem. Mayoritas bahan insulasi dapat mengurangi setidaknya 90% perpindahan panas yang tidak diinginkan dibandingkan dengan permukaan yang tanpa insulasi. Pemilihan bahan insulasi yang tepat dan cara pemasangan sistem insulasi memainkan peran penting dalam pengelolaan energi (Moon,2006)

2.3.1 Jenis Insulasi

1. Insulasi kering
Insulasi kering memerlukan penghalang (*barrier*) luar untuk mencegah *water ingress* (*pipe-in-pipe*)
2. Insulasi basah
Insulasi basah tidak memerlukan penghalang (*barrier*) luar untuk mencegah *water ingress*, atau keberadaan *water ingress* diabaikan karena tidak menurunkan sifat insulasi.



2.3.2 Fungsi Insulasi

Berdasarkan tujuan bahan insulasi yang digunakan, beberapa fungsi utama dari insulasi adalah:

1. *Reduction Heat Loss*

Alasan utama penggunaan sistem insulasi adalah menghemat energi dengan mengurangi kehilangan panas pada sistem perpipaan, *pressure vessel* dan peralatan lainnya untuk memenuhi persyaratan operasional atau proses. Salah satu persyaratan utama yang dipertimbangkan selama pemilihan sistem insulasi adalah temperatur yang direkomendasikan tertinggi pada suatu sistem. (Frankel,2002)

2. *Condensation Prevention*

Pencegahan kondensasi merupakan alasan kedua dalam penerapan sistem insulasi pada pipa dan peralatan yang membawa cairan dingin. Karena temperatur sistem operasi dingin dapat berada di bawah titik embun dimana kelembaban di atmosfer dapat mengembun dan membentuk lapisan elektrolit di atas permukaan logam pipa dan peralatan, penggunaan sistem insulasi yang memberikan manfaat tambahan dari inisiasi proses korosi. (Chacko,2005).

3. *Personnel Protection*

Dalam kasus sistem operasi temperatur tinggi dimana konservasi energi tidak menjadi pertimbangan, pengendalian temperatur permukaan diperlukan untuk keamanan dan kenyamanan pekerja. Biasanya pada permukaan seperti pipa panas atau bejana harus diinsulasi untuk menjaga temperatur permukaan insulasi di bawah 48°C dimana kulit manusia tidak akan terbakar (Frankel,2002)

4. *Noise Reduction*

Pertimbangan terakhir untuk menerapkan bahan insulasi adalah redaman kebisingan. Dalam beberapa kasus tertentu, diinginkan untuk mengurangi kebisingan yang mungkin dihasilkan oleh peralatan atau sistem perpipaan, terutama untuk alasan kenyamanan. Selain empat kategori sebelumnya,



sistem insulasi juga bisa memberikan manfaat tambahan (Banrhart,1985):

- Mencegah kerusakan peralatan akibat terkena api atau lingkungan korosif
- Menawarkan kekuatan struktural tambahan
- Mengurangi difusi uap air
- Meningkatkan efisiensi pengoperasian sistem pemanas dan pendinginan

2.3.3 Sifat Insulasi

Ditinjau dari fungsinya maka sifat-sifat insulasi yang paling penting antara lain:

1. Konduktansi Termal

Konduktansi termal mengacu pada jumlah panas yang ditransmisikan melalui bahan homogen dengan ketebalan tertentu(Frankel,2002). Hal ini dilambangkan dengan huruf 'C' dan dinyatakan dalam watts per meter persegi per derajat celsius ($W/m^2 \times ^\circ C$). Makin rendah nilai konduktifitas termal, makin baik insulasi dalam mencegah perpindahan panas. Rumus berikut biasanya digunakan untuk menghitung konduktansi bahan:

$$C = \frac{k}{t} \quad (2.16)$$

Dimana

$C =$ Konduktansi Thermal ($W/m^2 \times ^\circ C$)

$k =$ Thermal Conductivity ($W/m \times ^\circ C$)

$t =$ Insulation Thickness (meter)

2. Kekuatan Material

Kekuatan tekan adalah properti penting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan bahan insulasi jika insulasi harus mendukung beban atau akan dikenai beban mekanis yang bergerak atau bergetar (Watson,2005). Biasanya properti ini memberi gambaran berapa banyak deformasi yang bisa terjadi di bawah muatan tertentu. Material insulasi harus mampu menahan beban atau getaran dalam aplikasinya, penanganan,



tumpukan tinggi dalam penyimpanan, atau banyaknya getaran pada saat pengoperasian.

3. Ketahanan Terhadap Uap Air

Pada material yang berpori, ruang udara dapat terisi dengan cepat dengan air. Material harus memiliki sifat penyerapan yang rendah serta harus memiliki kemampuan untuk mengeringkan. Semakin tinggi nilai *permeance* semakin tinggi jumlah uap air yang mampu berdifusi ke dalam bahan insulasi (Frankel,2002). Tabel 2.5 menunjukkan daftar bahan insulasi yang berbeda dan ketahanan kelembaban umumnya.

Tabel.2.4 *Moisture Resistance of insulation materials*
(Kalis,2005)

<i>Insulation</i>	<i>Permeance (perm-inch)</i>
<i>Cellular glass</i>	0.00
<i>Flexible elastomeric</i>	0.09
<i>Cellular polystyrene</i>	1 to 3
<i>Phenolic</i>	1 to 3
<i>Polyisocyanurate</i>	1 to 3
<i>Polyurethane</i>	1 to 3
<i>Fibrous glass</i>	40 to 110

4. Ketahanan Terhadap Api

Material insulasi harus dapat menahan posisi dan bentuknya saat kebakaran terjadi, dan juga tidak menjadi bahan bakar yang dapat memperbesar api serta mengeluarkan asap dan gas beracun. Selain itu juga memiliki kemampuan untuk menyerap kebakaran atau cairan beracun.

2.3.4 Material Insulasi

Menurut standar NACE RP0198-98 “*The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Material*”, material insulasi diklasifikasikan menjadi delapan kategori, yaitu:



1. *Calcium Silicate*

Calcium Silicate dikenal dengan nama Cal-Sil adalah perpaduan dari material kimia Ca_2SiO_4 atau disebut juga calcium orthosilicate dan diformulasikan sebagai $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Calcium Silicate banyak digunakan pada area aplikasi Geothermal. Berdasarkan standar ASTM C533 type 1, diketahui data-data sebagai berikut:

- Ketahanan Pada perpindahan panas = 1200°F, Min 80°F
- *Thermal Conductivity* berkisar antara (200°F) - (400°F)

2. *Expanded perlite*

Perlite adalah amorphous volcanic glass yang memiliki kandungan air yang tinggi. Keadaan fisiknya sebelum mengembang adalah obsidian. Perlite adalah industrial mineral dan produk komersil yang digunakan apabila dibutuhkan material insulasi dengan masa jenis/density yang rendah setelah di proses.

Berdasarkan ASTM C610:

- Ketahanan Pada perpindahan panas = 1200°F, Min 80°F
- *Thermal Conductivity* berkisar antara 200°F - 400°F berdasarkan ASTM C518, C177

3. *Polyolefin*

Polyefin adalah polimer yang banyak sekali digunakan khususnya untuk insulasi dingin, bentuknya seperti karet sehingga sering disebut *Rubber insulation*. Umumnya digunakan pada aplikasi HVAC dan industri refrigerasi. Material ini sangat direkomendasikan untuk mengendalikan kondensasi dan sangat baik untuk berfungsi sebagai vapor resistance, beberapa aplikasi yang menggunakan *polyefin* adalah:

- *Hot and cold water (domestic and commercial)*
- *Roof drains*
- *Cold process pipes and equipment*



- *Heating, ventilating, and air-conditioning (HVAC) equipment*

Berdasarkan ASTM C1427 karakteristik Polyefin antara lain adalah

- Ketahanan Pada perpindahan panas Max= 200°F, Min -150°F
- *Thermal Conductivity* berkisar antara -100°F - -75 °F berdasarkan ASTM C518

4. *Melamine foam*

Melamine foam adalah material yang terdiri dari *formaldehyde-melamine-sodium bisulfite copolymer*. Berdasarkan ASTM C1410 *melamine foam* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Ketahanan Pada perpindahan panas Max= 350°F, Min -40°F
- *Thermal Conductivity* berkisar antara 75°F -200°F berdasarkan ASTM C518

5. *Phenolic*

Phenolic Insulation punya nilai konduktivitas panas (*thermal conductivity*) yang sangat rendah. Berdasarkan ASTM C1126. *Phenolic Insulation* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Ketahanan Pada perpindahan panas Max= 257°F, Min -297°F
- *Thermal Conductivity* berkisar antara -100°F - 75°F berdasarkan ASTM C518.

6. *Polyisocyanurate*

Polyisocyanurate atau disebut juga PIR adalah thermoset plastik biasanya diproduksi dalam bentuk foam dan digunakan pada aplikasi insulasi dengan tuntutan bentuk kokoh dan thermal insulation yang baik. Dalam aspek kimiawi material ini mirip dengan *polyurethane*. *Polyisocyanurate* banyak digunakan pada aplikasi bangunan karena sifat kokohnya. Berdasarkan ASTM C591 karakteristik material ini sebagai berikut:



- Ketahanan Pada perpindahan panas Max= 300°F, Min -297°F
- *Thermal Conductivity* berkisar 100–200°F berdasarkan ASTM C518

7. *Elastomeric*

Elastomeric adalah polimer yang banyak sekali digunakan khususnya untuk insulasi dingin, bentuknya seperti karet sehingga sering disebut rubber insulation. Umumnya digunakan pada aplikasi HVAC dan industri refrigerasi. Material ini sangat direkomendasikan untuk mengendalikan kondensasi dan sangat baik untuk *vapor resistance* beberapa aplikasi yang menggunakan polyefin adalah:

- *Hot and cold water (domestic and commercial)*
- *Roof drains*
- *Cold process pipes and equipment*
- *Heating, ventilating, and air-conditioning (HVAC) equipment*

Berdasarkan ASTM C1427 karakteristik Polyefin diantaranya adalah

- Ketahanan Pada perpindahan panas Max= 250-250°F, Min -297°F
- *Thermal Conductivity* berkisar antara -100°F -200 °F berdasarkan ASTM C518

8. *Material Silica Aerogel*

Silica Aerogel adalah material berpori ringan dengan properti insulasi termal superior dibandingkan dengan bahan insulasi termal konvensional. Material ini dapat diterapkan tidak hanya untuk aplikasi di lingkungan normal tetapi juga dalam temperatur rendah dan tinggi serta tekanan yang tinggi). Selain itu material *silica aerogel* mudah dalam pengaplikasiannya karena bentuknya yang fleksibel.



2.4 Lapisan Pelindung

Pelapisan (*coating*) adalah proses penambahan suatu material ke suatu permukaan material lain (*substrate*) untuk membuat sebuah lapisan tersendiri yang menutupi *base metal*. Pelapisan pada suatu permukaan memiliki tujuan untuk:

1. Melindungi permukaan dan lingkungan yang mungkin menyebabkan korosi atau deterioratif (merusak).
2. Untuk meningkatkan penampilan permukaan.
3. Untuk memperbaiki permukaan atau bentuk suatu komponen tertentu dan lain-lain (Pawlowski, 2008).

Lapisan pelindung merupakan salah satu pilihan terbaik untuk mencegah elektrolit mencapai permukaan logam sehingga mengurangi terjadinya korosi. Pelapisan pada logam agar memiliki sifat mekanik yang baik biasanya merupakan pilihan yang tepat agar hemat biaya daripada memilih baja tahan korosi yang lebih mahal tanpa menerapkan pelapis pelindung. Untuk melindungi dari korosi, karakteristik utama coating pada CUI adalah kohesi dan adhesi yang baik serta ketahanan terhadap lingkungan atau cuaca ekstrem. Ketebalan lapisan merupakan faktor penting dalam sistem pelapisan. Sebagian besar bahan memiliki batas ketebalan yang dapat diterima. Jika terlalu tebal, lapisannya mungkin tidak menempel pada permukaan logam. Sebaliknya, jika pelapis yang diterapkan terlalu tipis, maka tidak akan memberikan penghalang yang efektif; Dengan demikian logam akan berkarat dengan adanya air dan uap air di bawah insulasi. Pemilihan jenis material dan metode *coating* harus memperhatikan beberapa faktor. Material *coating* yang ideal digunakan untuk melapisi adalah sebagai berikut:

1. Material pelapis harus lebih tahan pada lingkungan dibanding dengan logam yang dilindungi.
2. Material pelapis tidak boleh memicu korosi setelah melapisi logam yang dilindungi.
3. Sifat mekanik dan fisik seperti kekuatan, ketahanan abrasi, ketahanan korosi, dan sifat termal harus memenuhi kondisi operasi komponen yang bersangkutan.



4. Metode pelapisan harus sesuai dengan metode fabrikasi komponen.
5. Tebal pelapisan harus homogen dan tidak mengandung pori

2.4.1 Coating Poly Tetra Fluoro Ethylene PTFE (Teflon)

Pelapisan termoplastik dan elastomer sering dilakukan terhadap logam yang relative murah untuk memadukan sifat-sifat mekanik logam tersebut dengan sifat plastic yang anti korosi. Salah satu jenis dari cat ini adalah *Poly Tetra Fluoro Ethylene PTFE*. *PTFE* adalah bahan termoplastik semi-kristal, dengan temperatur kerja berkisar hingga 400/500 °F (240/260 °C). *Coating PTFE* memiliki *thermal resistant* yang tinggi, koefisien gesekan yang sangat rendah, ketahanan abrasi yang tinggi dan *chemical resistance* yang baik. Sehingga cocok digunakan sebagai insulator pada kabel dan pipa untuk mencegah kebakaran dan perpindahan panas yang tidak diinginkan (Sulistijono,1999)

Manfaat *coating PTFE*:

1. Tahan korosi
2. *Chemical resistance*
3. Mudah dipasang dan di lepas
4. Memiliki koefisien gesek yang rendah
5. *Heat resistance* yang tinggi

2.4.2. Epoxy

Pelapisan dengan Epoksi memiliki sifat adhesi yang baik, dan sifat fisik yang memberikan perlindungan luar biasa terhadap lingkungan korosif yang ekstrim. Pada umumnya epoxy digunakan pada peralatan untuk kilang, pabrik kimia, dan peralatan kelautan seperti platform pengeboran lepas pantai dan kapal. Aplikasi penting lainnya adalah lapisan resin epoksi digunakan hampir secara eksklusif karena proteksi korosi yang mereka berikan pada peralatan otomotif, pesawat terbang, dan alat serta untuk melindungi bagian dalam dan luar pipa. Resin epoksi adalah resin thermosetting. Namun kekurangan dari coating epoksi adalah memiliki sifat yang brittle pada temperatur siklik dan juga harganya tergolong mahal.



Manfaat *coating Epoxy*:

1. Tahan terhadap lingkungan korosif yang ekstrim
2. *Chemical resistance* tinggi
3. Pengaplikasian cukup mudah
4. Tahan gores yang baik
5. *Heat resistance* yang tinggi

2.5 Penutup Pelindung (*Protective Covering*)

Kemampuan bahan insulasi yang baik tergantung pada perlindungan dari kerusakan mekanis dan kimiawi dan juga dari air dan masuknya kelembaban. Berbagai sistem jaket dan bahan finishing diproduksi dan diterapkan bersamaan dengan bahan insulasi untuk memastikan kinerja jangka panjang dari keseluruhan sistem insulasi. Sistem jaket, yang juga dikenal sebagai penghalang cuaca atau uap, merupakan garis pertahanan dan perlindungan sistem insulasi pertama terhadap penyalahgunaan mekanis, atmosfer korosif, intrusi air dan eksposur api. Pertimbangan khusus harus diberikan pada bahan jacketing yang digunakan untuk perlindungan mekanik bahan insulasi dengan kekuatan tekan rendah, karena sangat rentan terhadap kerusakan fisik, memungkinkan masuknya air. Bahan jaket yang sering digunakan meliputi plastik bertulang *fiberglass*, *stainless steel*, aluminium, baja galvanis, sistem pita dan kain bertulang. Kondisi peralatan terinsulasi dan bahan insulasi itu sendiri akan bergantung pada kapasitas sistem jaket untuk menjaga integritas teknis mereka selama siklus hidup peralatan yang direncanakan. (Watson,2005)

• Jaket Aluminium

Jaket aluminium dalam ketebalan yang berbeda dan bentuknya yang bergelombang atau halus. Karena harganya lebih murah dibanding jaket *stainless steel*, penggunaannya lebih sering terjadi. Seperti pada Gambar 2.11 Jaket aluminium biasanya diamankan dengan sekrup, tali atau dengan lapisan yang dipatenkan dengan pola Z atau S. Biasanya berbagai pelapis dan penghalang uap diaplikasikan pada jaket aluminium, terutama jika insulasi mungkin memiliki beberapa zat yang dapat menyebabkan serangan korosif pada aluminium (Frankel,2002)



Gambar.2.11 *Aluminium Jacket* (Welding Institute,2006)

- **Jaket *Stainless Steel***

Jaket *stainless steel* ada dalam bentuk bergelombang atau datar. Paduan yang paling sering tersedia adalah tipe 302, 304 dan 316. Mereka tersedia dalam berbagai ketebalan dan dijamin dengan cara yang sama seperti jaket aluminium. Karena harganya lebih mahal dari jaket aluminium, penggunaannya terbatas pada aplikasi khusus seperti sistem insulasi yang harus tahan api. Jenis bahan ini rentan terhadap retak korosi tegangan dalam kontak dengan ion klorida yang dapat larut yang disajikan dalam bahan insulasi (NACE,2010)

- **Jaket plastik**

Jaket plastik tersedia dalam berbagai bahan, seperti *polyvinyl chlorides (PVC)* dan *polyvinyl fluorides (PVF)*. Bahan termoplastik ini tidak sering digunakan untuk aplikasi di luar ruangan karena ketahanannya yang buruk terhadap penyalahgunaan mekanis dan radiasi ultraviolet, titik lebur yang rendah dan korosi oleh bahan kimia yang berbeda. Bahan ini biasa digunakan untuk aplikasi indoor (NACE,2010)

2.6 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Muhammad Hafiz Untuk penelitian ini akan dibagi menjadi dua fase. Pada Tahap I percobaan yang dilakukan adalah simulasi CUI berdasarkan standar ASTM G189-07. Hasil yang diperoleh dari simulasi dihitung untuk laju korosi. Tingkat korosi yang dihitung akan



diperiksa dan dibandingkan dengan standar ASTM G189-07 untuk validasi. Berdasarkan ASTM G189-07, lingkungan uji khusus diperlukan untuk menghasilkan lingkungan eksposur yang dipercepat. Larutan yang digunakan terdiri dari 100 ppm NaCl yang dilarutkan dalam air reagen, diasamkan dengan penambahan H₂SO₄ sampai pH 6 ($\pm 0,1$ pH unit) pada 24°C.

Pada tahap II, percobaan yang dilakukan adalah simulasi CUI berdasarkan standar ASTM G189-07 dengan beberapa modifikasi yang dilakukan. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan menggunakan temperatur operasi yang berbeda. Pada tahap ini, dilakukan percobaan untuk memeriksa pengaruh temperatur operasi terhadap laju korosi. Pada fase ini, jenis insulasi yang sedang diuji diuji untuk mempelajari efek pada laju korosi. Selain itu, temperatur operasi yang akan diuji untuk mempelajari pengaruhnya terhadap laju korosi pada temperatur 65°C dan 121°C. Lingkungan uji yang digunakan untuk fase ini mirip dengan ASTM G189-07 yang merupakan larutan yang digunakan terdiri dari 100 ppm NaCl yang dilarutkan dalam air reagen, diasamkan dengan penambahan H₂SO₄ sampai pH 6 ($\pm 0,1$ pH unit) pada 24°C seperti dijelaskan pada table 2.5. Solusi ini dirancang untuk mewakili kondensat atmosfer dengan kotoran klorida dan asam yang ditemukan di lingkungan industri dan pesisir. Berdasarkan ASTM G189-07, laju korosi akan dihitung dengan dua teknik yang merupakan tahanan polarisasi linier dan kehilangan massa.

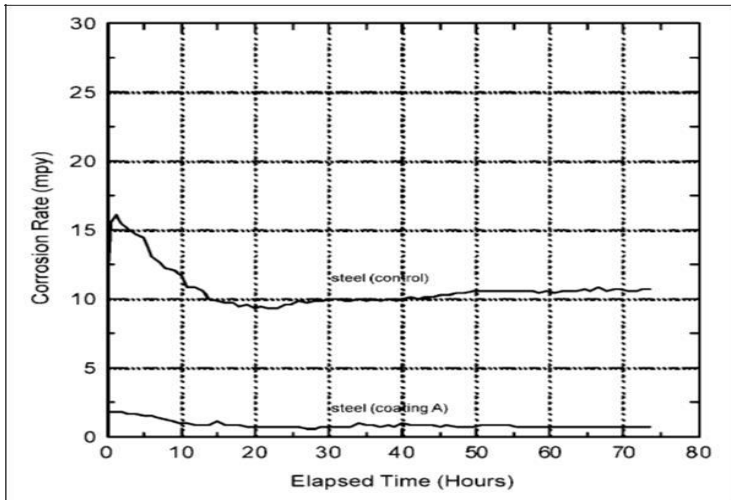


Tabel 2.5 CUI Simulation phase I and Phase II (Hafiz,2014)

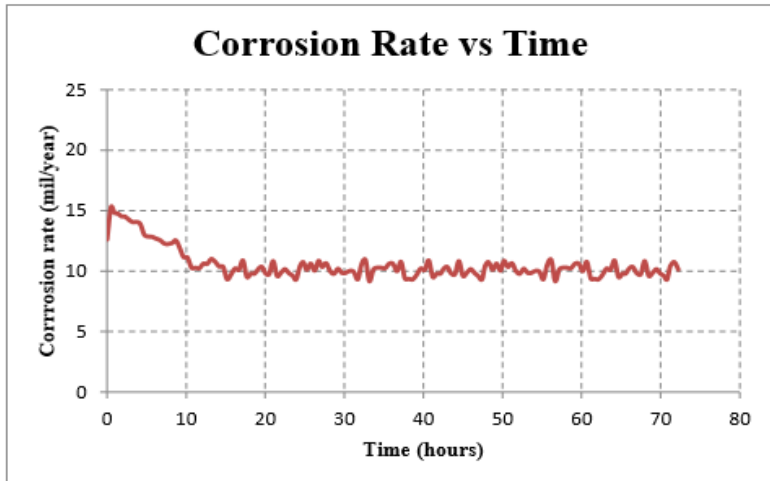
Hasil

Fase 1

<i>Specification</i>	<i>Phase 1</i>	<i>Phase 2</i>
<i>Environment</i>	<i>ASTM G189-07</i>	<i>ASTM G189-07</i>
<i>Material</i>	<i>CS Grade A106B</i>	<i>CS Grade A106B</i>
<i>Piping diameter</i>	<i>2 inch</i>	<i>2 inch</i>
<i>Thickness</i>	<i>0.187 inch</i>	<i>0.187 inch</i>
<i>Insulation type</i>	<i>Perlite</i>	<i>Perlite</i>
<i>Type of Cycle</i>	<i>Isothermal</i>	<i>Isothermal</i>
<i>Operating temperatur</i>	<i>65°C</i>	<i>Temp 1: 65°C Temp 2: 121°C</i>
<i>Duration</i>	<i>72 hours</i>	<i>72 hours</i>
<i>Corrosion Test</i>	<i>Electrochemical</i>	<i>Electrochemical</i>
	<i>Polarization Resistance</i>	<i>Polarization Resistance</i>



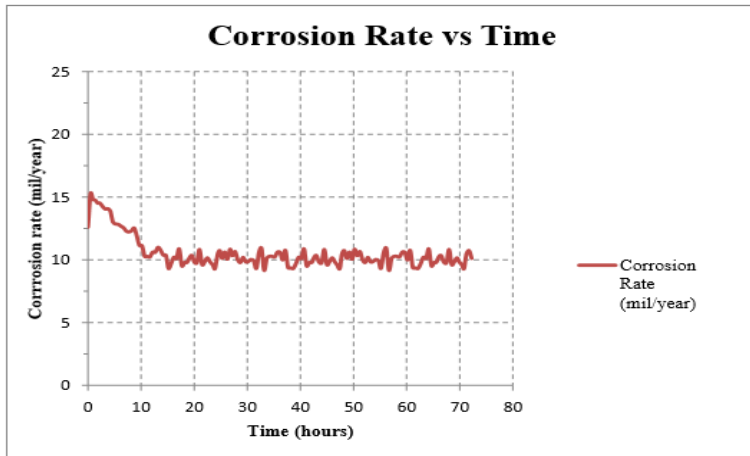
Gambar 2.12 Laju Korosi pada isothermal simulasi CUI pada 65°C (Hafiz,2014)



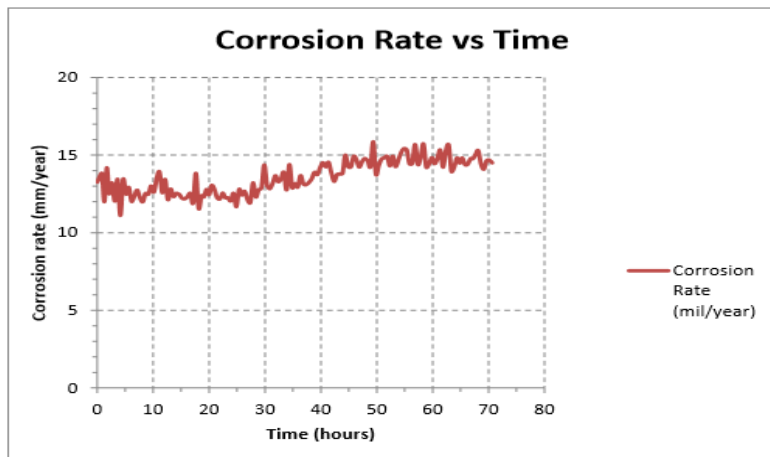
Gambar 2.13. Hasil laju korosi eksperimen laboratorium pada temperatur 65°C (Hafiz,2014)



Fase 2
Temperatur 65°C



Gambar 2.14 Laju Korosi pada temperatur 65°C (Hafiz,2014)



Gambar 2.15. Laju Korosi pada temperatur 121°C (Hafiz,2014)



Tabel 2.6 Hasil *weight loss* pada 65°C (Hafiz,2014)

		Weight (grams)		
		Ring 1	Ring 2	Ring 3
Initial	Mi	23.6472	23.7837	23.3580
After Exposure	Mf	23.6797	23.8222	23.3935
Cleaning cycle	1	23.5897	23.7537	23.3042
	2	23.5481	23.7370	23.2814
	3	23.5167	23.7330	23.2423
	4	23.5028	23.7295	23.2395
	5	23.4933	23.7250	23.2382
	6	23.4792	23.7249	23.2280
	7	23.4787	23.7141	23.2277
Mass Difference		0.0325	0.0385	0.0355
Average Mass Loss		0.0355		
Corrosion Rate	mm/year	0.58	mil/year	22.95

Tabel 2.7 Hasil *weight loss* pada 121°C (Hafiz,2014)

		Weight (grams)		
		Ring 1	Ring 2	Ring 3
Initial	Mi	23.4560	23.7226	23.5032
After Exposure	Mf	23.5636	23.8600	23.6105
Cleaning cycle	1	23.4413	23.6705	23.4915
	2	23.4378	23.6648	23.4855
	3	23.4343	23.6551	23.4782
	4	23.4280	23.6483	23.4728
	5	23.4236	23.6433	23.4682
	6	23.4212	23.6404	23.4653
	7	23.4173	23.6398	23.4623
Mass Difference		0.1076	0.1374	0.1073
Average Mass Loss		0.1174		
Corrosion Rate	mm/year	1.93	mil/year	75.90

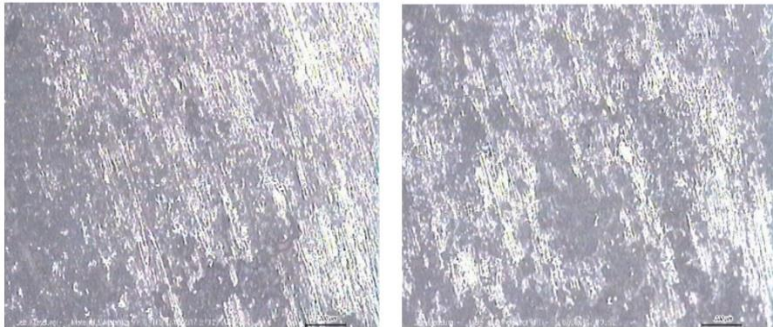
Berdasarkan Gambar 2.12 dan Gambar 2.13 menunjukkan kecenderungan grafik tingkat korosi yang diperoleh dari percobaan serupa dibandingkan dengan hasil pada ASTM 189-07. Dengan demikian, setup eksperimental dan prosedur yang dilakukan valid untuk eksperimen lebih lanjut. Pada Gambar 2.13 dan Gambar 2.14 laju korosi pada temperatur yang lebih tinggi (121°C) lebih tinggi dibandingkan laju korosi pada temperatur rendah (65°C). Berdasarkan uji ketahanan polarisasi, laju korosi pada 65°C dan 121°C masing-masing 10 mpy dan 13,5 mpy. Tingkat korosi yang dihitung berdasarkan uji kehilangan massa untuk 65°C dan 121°C

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



masing-masing 22,95 mpy dan 75,90 mpy. Tingkat korosi yang dihitung berdasarkan data uji massa kehilangan jauh lebih tinggi daripada laju korosi dari uji ketahanan polarisasi karena data uji ketahanan polarisasi memberikan tingkat korosi yang agak konservatif, sedangkan laju korosi yang dihitung dari data kehilangan massa.

Penelitian sebelumnya yang lain dilakukan oleh Faridz Muhammad Edrie (2017). Pada penelitian ini *menggunakan coating PTFE (polytetraflouroethylene)*. Pipa yang digunakan pada penelitian ini adalah *carbon steel pipe API 5L*. Lingkungan pengujian yang dipilih adalah lingkungan kering dan basah. Variabel yang digunakan merupakan variasi temperatur fluida dalam. Kondisi variabel temperatur fluida dalam adalah 45°C, 55°C, 65°C dan 75°C. Pengujian dilakukan selama 14 hari setelah itu dilakukan karakterisasi spesimen uji menggunakan *visual testing, SEM, XRD dan weight loss*.

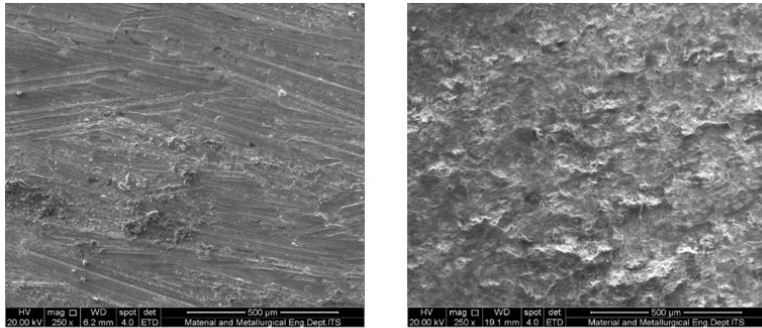


A

B

Gambar 2.16 Hasil Mikroskop perbesaran 50x lingkungan basah(a) dan kering(b) pada 75 °C. (Faridz, 2017)

Dari Gambar 2.16 dapat dilihat bahwa jenis korosi yang timbul pada pipa merupakan jenis *uniform corrosion* atau korosi permukaan yang umum terjadi pada permukaan logam.



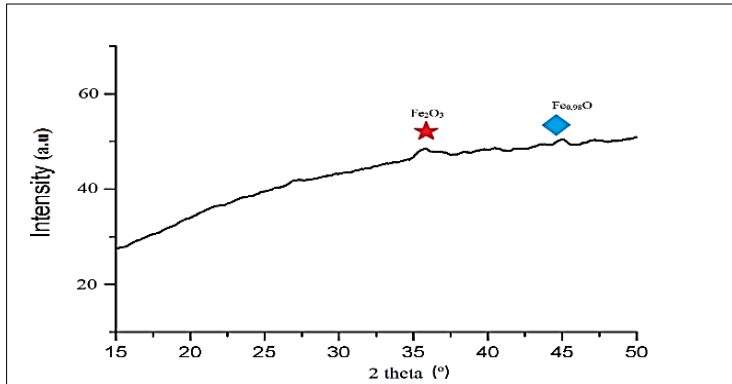
A

B

Gambar 2.17 Hasil Uji SEM perbesaran 250X lingkungan kering 75 °C. (Faridz, 2017)

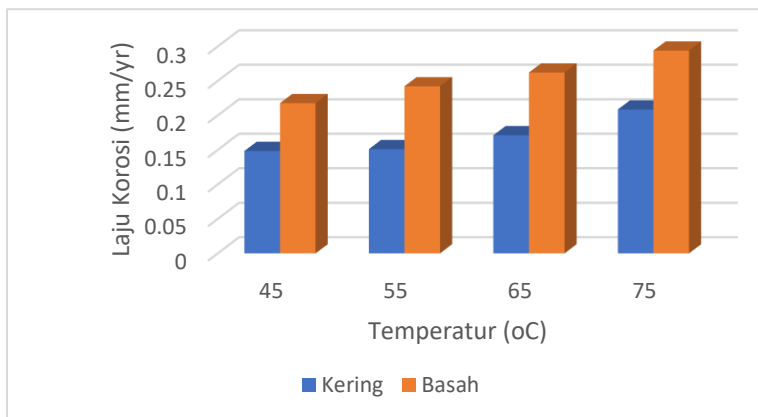
Dari Gambar 2.17 dapat dilihat perbedaannya bahwa variasi temperatur mempengaruhi korosi yang terbentuk pada permukaan luar pipa. Pada pipa dengan temperatur operasi 45°C persebaran korosi yang timbul dapat dikatakan sedikit sekali. Semakin meningkatnya temperatur fluida alir yang di operasikan pada pipa maka produk korosi yang terbentuk pada permukaan luar pipa baja karbon akan semakin merata dan semakin dalam.

Setelah melihat hasil dari pengujian SEM ini, dapat disimpulkan bahwa jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa baja karbon merupakan jenis *uniform corrosion*.



Gambar 2.18 Hasil XRD (Faridz, 2017)

Dari gambar 2.18 hasil pengujian XRD pada pipa setelah pengujian 14 hari, didapatkan beberapa senyawa yang teridentifikasi. menghasilkan dua buah *peak* dengan intensitas tertinggi yaitu senyawa. Peak tertinggi adalah senyawa *Maghemite-C, syn* (Fe_2O_3) dengan sudut 2θ sebesar 35.5820° dengan intensitas sebesar 96,16%. Dan peak tertinggi kedua adalah senyawa *iron oxide* ($\text{Fe}_{0,98}\text{O}$) dengan sudut 2θ sebesar $44,0647^\circ$ dengan intensitas sebesar 47,81%.



Gambar 2.19 Hasil Uji *Weight Loss* (Faridz, 2017)

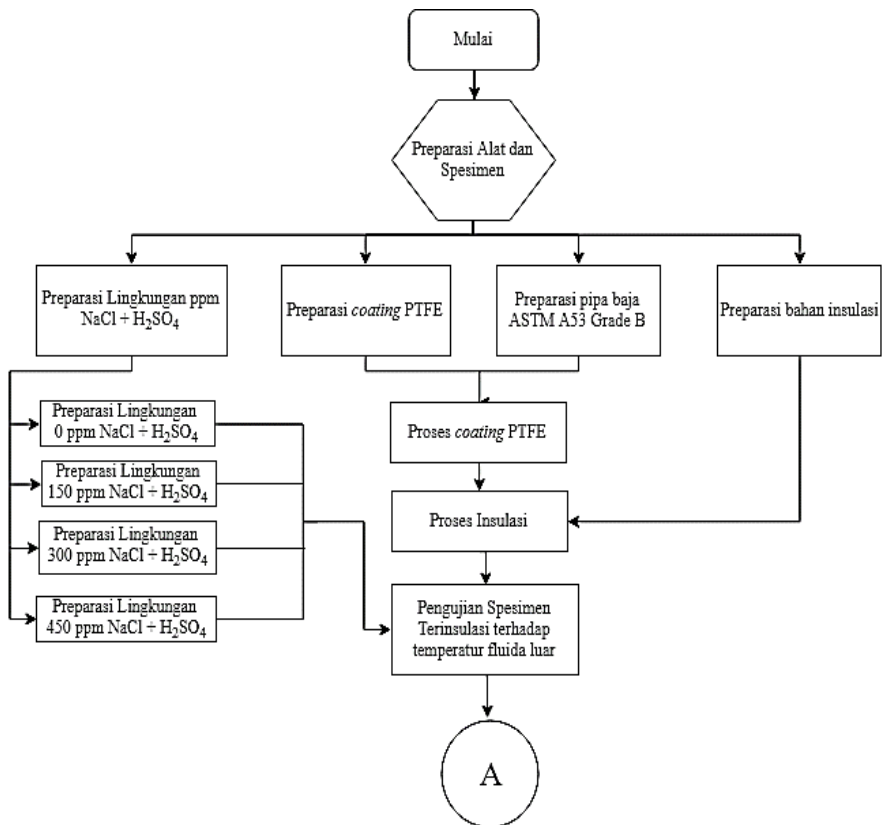


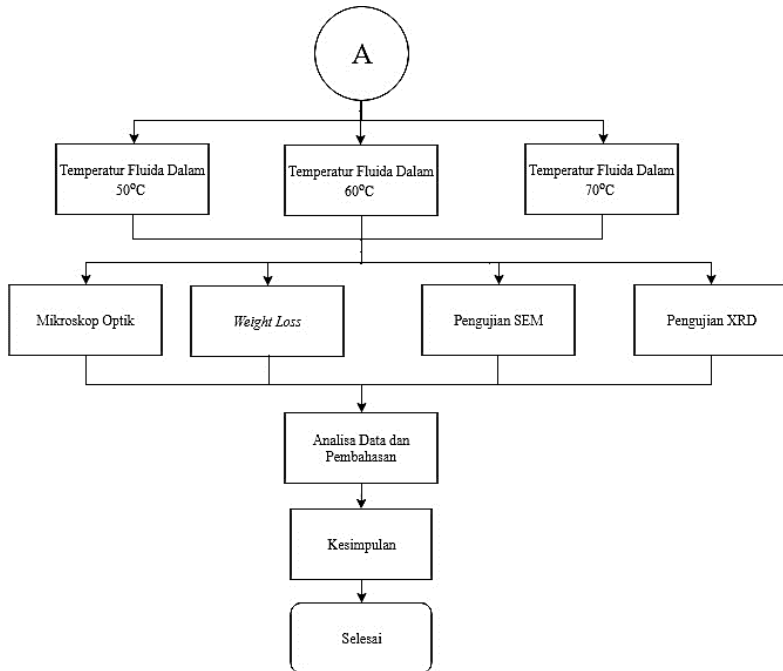
Pada Gambar 2.19 Hasil uji *weight loss* pada kondisi lingkungan kering pada temperatur 45°C, 55°C, 65°C, 75°C masing-masing memiliki nilai berturut-turut 0.1484 mm/year, 0.1511 mm/year, 0.1712 mm/year, dan 0.2085 mm/year. Sedangkan hasil uji *weight loss* pada temperatur 45°C, 55°C, 65 °C dan 75°C dapat dilihat pada tabel 4.2 masing-masing memiliki nilai berturut-turut 0.2177 mm/year, 0.2421 mm/year, 0.2621 mm/year, dan 0.2938 mm/year. Dari kedua hasil uji *weightloss* tersebut pada dua kondisi lingkungan menunjukkan kenaikan laju korosi setiap peningkatan temperatur.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian pada tugas akhir ini:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada buku, jurnal, dan informasi dari penelitian sebelumnya yang mempelajari mengenai CUI. Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik CUI pada permukaan luar pipa dan mampu merancang sistem insulasi yang tepat dengan berbagai keadaan lingkungan yang ada di dunia industri.

2. Eksperimen

Metode ini dilakukan dengan pengujian sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang



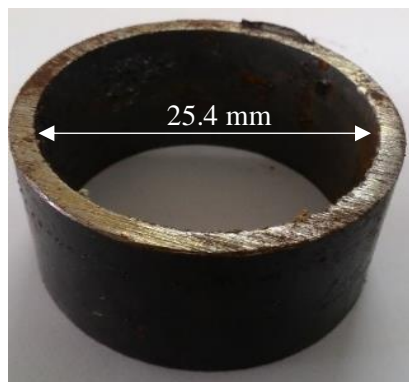
diperlukan dalam penelitian ini adalah mikroskop optik, *weight loss*, SEM dan XRD.

3.3 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa prosedur yang harus dilakukan yaitu :

3.3.1 Preparasi Spesimen Uji

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa baja karbon ASTM A-53 Grade B. Pipa baja dipotong dengan ukuran 30 mm sebanyak 15 spesimen. Pemotongan dilakukan dengan alat potong berupa gergaji dan dilakukan penyelesaian akhir berupa *surface preparation* dengan menggunakan kertas *abrasive*. *Surface preparation* menggunakan kertas *abrasive* dilakukan pada permukaan bagian dalam dan luar spesimen untuk membuat *profile* dan menghilangkan kotoran pada permukaan spesimen. Setiap spesimen di timbang beratnya tujuannya agar dapat dihitung selisih berat sebelum dan sesudah spesimen diuji. Pada Gambar 3.2 merupakan spesimen setelah dilakukan pemotongan dan preparasi.



Gambar 3.2 Kondisi spesimen setelah dipotong

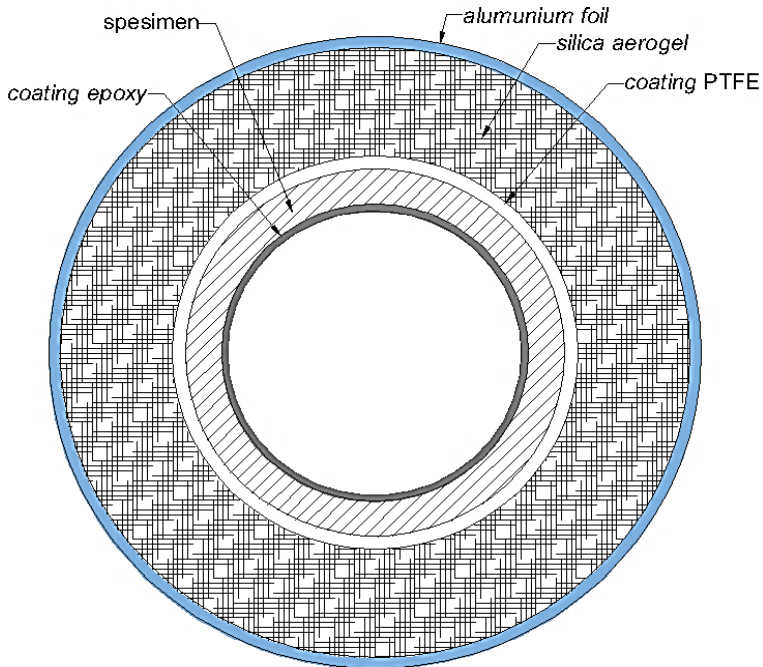


Tabel 3.1 Spesifikasi pipa baja karbon

No	Spesifikasi	Ukuran
1	Diameter	1 Inch
2	Tebal	3 mm
3	<i>Schedule</i>	40
4	Panjang	30 mm

Tabel 3.2 Komposisi pipa baja karbon

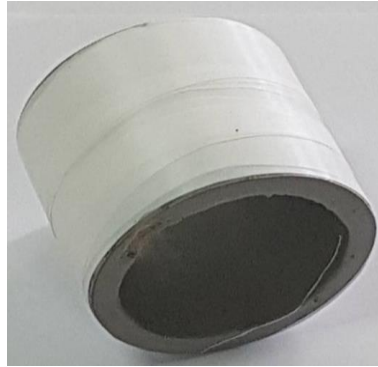
No	Unsur	Jumlah (%)
1	Karbon (C)	0.30
2	Mangan (Mn)	1.20
3	Fosfor (P)	0.05
4	Sulfur (S)	0.045
5	Tembaga (Cu)	0.40
6	Nikel (Ni)	0.40
7	Krom (Cr)	0.40
8	Molibdenum (Mo)	0.15
9	Vanadium (Va)	0.08



Gambar 3.3 Penampang melintang spesimen

3.3.2 Preparasi Coating

Spesimen setelah dilakukan preparasi selanjutnya dilakukan *coating*. *Coating* dilakukan dua tahap yaitu tahap pertama dilakukan pada permukaan spesimen bagian dalam dengan menggunakan *coating epoxy* dengan metode *brush* (kuas) tujuan dari *coating* pada permukaan bagian dalam spesimen bertujuan untuk menghindari terjadinya korosi pada permukaan spesimen bagian dalam yang nantinya akan berpengaruh pada pengujian *weight loss*. Tahap kedua dilakukan pada permukaan luar spesimen menggunakan *coating PTFE*. Pada Gambar 3.3 merupakan penampang melintang spesimen dengan ketebalan pipa 30 mm, ketebalan *coating Epoxy* 0.2 mm sedangkan ketebalan *coating PTFE* adalah 0.3 mm. Hasil dari proses *coating* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kondisi spesimen setelah dilakukan *coating*
Tabel 3.3 Spesifikasi *coating Epoxy Jotamastic*

<i>Property</i>	<i>Description</i>
<i>Solids by volume (ISO 3233)</i>	80 +/- 2%
<i>Gloss level (ISO 2813)</i>	<i>Semi gloss (35-70)</i>
<i>Flash point (ISO 3679)</i>	35°C
<i>Density</i>	1.5 kg/liter
<i>Dry film thickness</i>	75-200 mikron meter
<i>Wet film thickness</i>	95-250 mikron meter
<i>Colour</i>	Grey
<i>Heat Resistance</i>	120° C
<i>Method</i>	Brush, spray, roller
<i>Solvent</i>	Thinner JOTUN no. 17
<i>Curing time</i>	4 hours
<i>Substrate</i>	carbon steel, shop prime steel, coated surface steel

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

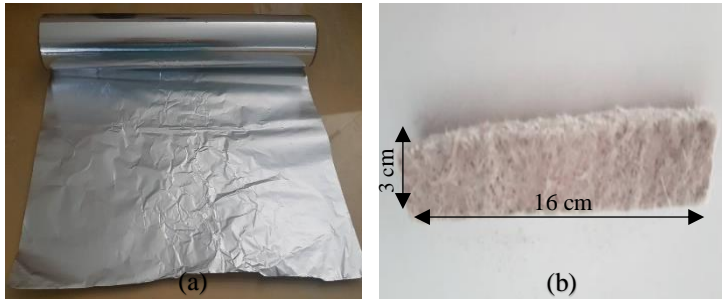


Tabel 3.4 Spesifikasi PTFE

<i>Properties</i>	<i>Description</i>
<i>Tensile Strength (ASTM D1708)</i>	3000-5000 psi
<i>Elongation (ASTM D1457)</i>	300-500%
<i>Impact Strength (ASTM D256)</i>	3.5 ft-Lb/in
<i>Hardness (ASTM D2240)</i>	50 – 65 (shore D)
<i>Abrasion Resistance</i>	12 mg
<i>Coefficient of Friction (ASTM D1894)</i>	12 – 15 static, 0.5 – 10 dynamics
<i>Dielectric Strength (ASTM D149)</i>	450 volts per mil
<i>Use Temperatur</i>	600 °F
<i>Melting Point</i>	625 °F
<i>Thermal Conductivity</i>	1.7 BTU-in/h-ft-°F
<i>Chemical Resistance (ASTM D543)</i>	Excellent
<i>Salt Spray Resistance (ASTM B117)</i>	Fair
<i>Water Absorption (ASTM D570)</i>	<0.1 %
<i>Thickness</i>	0.1 mm

3.3.3 Preparasi Bahan Insulasi

Melakukan pemotongan insulasi *silica aerogel* dengan merk dagang *Pyrogel XT* menggunakan silet dan gunting dengan luas permukaan disesuaikan dengan luas permukaan luar spesimen. Kemudian memotong aluminium foil dengan menggunakan gunting dengan luas permukaan disesuaikan dengan luas permukaan luar spesimen.



Gambar 3.5 Bahan aluminium foil (a) dan *silica aerogel* (b)

Tabel 3.5 Spesifikasi *Pyrogel XT*

No	Spesifikasi	Ukuran
1	<i>Thickness</i>	0.20 in (5 mm)
2	<i>Material Form</i>	60 in (1500 mm) wide X 260 ft (80 m) long rolls
3	<i>Max. Use</i>	1200 ^o F (650 ^o C)
4	<i>Color</i>	Beige
5	<i>Density</i>	11 lb/ft ³ (0.18 g/cc)
6	<i>Hydrophobic</i>	Yes

3.3.4 Preparasi Lingkungan Luar

Untuk mensimulasikan kondisi lingkungan dengan kandungan klorida dan asam yang ditemukan di lingkungan industri dan *offshore* area maka dibuat larutan dengan penambahan NaCl dengan variasi (0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm) dan penambahan H₂SO₄ untuk prosedurnya dapat dilihat sebagai berikut:

Prosedur pembuatan lingkungan luar:

1. Menyiapkan dan mengisi wadah 'A' dengan aquades sebanyak 1 liter
2. Meneteskan 1 ml H₂SO₄ menggunakan pipet pada wadah 'A' kemudian diaduk
3. Menimbang serbuk NaCl sebanyak 0.150 gram, 0.300 gram dan 0.450 gram.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



4. Menyiapkan dan mengisi 4 wadah dengan 1 liter aquades
5. Menambahkan 4 wadah tersebut dengan 0.150 gram, 0.300 gram dan 0.450 gram NaCl dan satu wadah tanpa menggunakan penambahan NaCl.
6. Mengambil 1 ml larutan pada wadah 'A' menggunakan pipet dan ditambahkan pada masing-masing 4 wadah tersebut.
7. Dilakukan pengadukan dan pengecekan pH dengan menggunakan pH meter agar dicapai pH sebesar 5-6)



Gambar 3.6 Alat dan bahan untuk lingkungan luar

3.3.5 Proses Insulasi

Prosedur untuk melakukan insulasi adalah sebagai berikut:

1. Menempelkan akrilik berbentuk lingkaran dengan diameter 60 mm dan direkatkan menggunakan lem *dextone* pada salah satu ujung pipa tujuan dari pemberian akrilik untuk menutup lubang pipa pada sisi tersebut.
2. Kemudian menempel pipa akrilik dengan diameter 60 mm yang memiliki lubang di tengah dengan diameter 10 mm dan direkatkan dengan lem *dextone* pada salah satu ujung pipa yang lain. Tujuan pemberian lubang tengah pada akrilik untuk tempat masuknya fluida dalam.



3. Setelah itu pemberian insulasi pada material uji dengan cara melilitkan *Pyrogel XT* pada permukaan luar spesimen dengan ketebalan 10 mm.
4. Dilanjutkan dengan pembungkusan menggunakan *aluminium foil*.

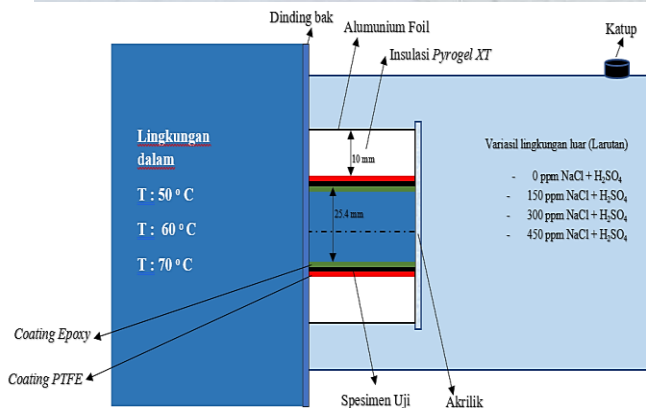


Gambar 3.7 Hasil proses insulasi

3.3.6 Perancangan Spesimen Uji

Setelah proses insulasi pada spesimen uji. Kemudian dilakukan perancangan spesimen uji prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Menempelkan spesimen pada dinding bak bagian luar menggunakan lem dextone
2. Membuat lubang diameter 10 mm pada dinding bak agar fluida dalam dapat masuk ke dalam pipa
3. Menempelkan bak kecil berukuran 70 mm x 70 mm x 40 mm pada dinding bak dengan lem dextone untuk menutupi spesimen
4. Melubangi bagian atas bak kecil untuk tempat memasukkan fluida luar



Gambar 3.8 Rancangan Spesimen Uji

3.3.6 Perancangan Alat Eksperimen

Prosedur untuk perancangan alat eksperimen sebagai berikut:

1. Mengisi bak besar dengan aquades sampai penuh.
2. Kemudian memasang *thermocouple* sebagai pengontrol panas diatur sebesar 50° C.
3. Kemudian mengisi 4 rangkaian spesimen dengan variasi fluida 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm NaCl melalui lubang bagian atas sebanyak 150 ml.
4. Melakukan langkah 1 sampai 3 pada bak besar yang berbeda dengan variasi temperatur fluida dalam 60° C dan 70° C.



5. Menyalakan *thermocouple* dan melakukan pengecekan temperatur fluida dalam menggunakan termometer



Gambar.3.9 Rancangan alat eksperimen

3.4 Karakterisasi Spesimen Uji

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik korosi yang tercipta akibat dari temperatur fluida dalam dan variasi jenis lingkungan luar yang di terapkan. Sehingga akan dilakukan empat pengujian yaitu mikroskop optik, XRD, SEM dan *weight loss*.

3.4.1 Mikroskop Optik

Pengujian dengan alat mikroskop optik dilakukan untuk mengetahui kondisi permukaan luar *coating* PTFE pada permukaan luar pipa baja karbon sebelum dan setelah mengalami pengujian selama 14 hari dengan metode *immerse*. Pengamatan permukaan luar pipa dilakukan pada semua pipa dengan perbesaran 50x.



Gambar 3.10 Alat Mikroskop Optik

3.4.2 Pengujian XRD

Analisa XRD merupakan pengujian yang dapat memberikan informasi mengenai jenis senyawa yang terdapat dalam suatu material. Analisis XRD ini dilakukan untuk membuktikan ada atau tidaknya produk korosi yang terjadi selama proses. Pengujian XRD ini hanya dilakukan pada pipa yang dirasa akan mengalami kemungkinan korosinya tinggi yaitu pada pipa kondisi lingkungan 450 ppm NaCl temperatur 70° C. Pengujian dilakukan hanya pada satu pipa baja karbon karena hasil XRD satu pipa cukup mewakili hasil XRD pipa pipa yang lain. Alat XRD yang digunakan adalah *PAN Analytical*.



Gambar 3.11 Alat uji XRD



3.4.3 Pengujian SEM

Penggunaan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan topografi dari korosi yang terbentuk pada pipa baja karbon. Topografi ini digunakan untuk menentukan jenis korosi apa yang timbul pada baja karbon setelah di lakukan eksperimen.

Spesimen pipa baja karbon yang diuji SEM adalah pipa baja karbon pada temperatur 50°,60° dan 70° C pada lingkungan 450 ppm NaCl. Dari hasil pengujian SEM ini dapat ditarik kesimpulan pengaruh temperatur fluida dalam dan variasi jenis lingkungan luar terhadap jenis korosi yang timbul. Alat *Scanning Electron Microscope* yang digunakan pada pengujian ini adalah *SEM FEI Inspect S50*.



Gambar 3.12 Alat uji SEM

3.4.4 Pengujian *Weight Loss*

Metode *weight loss* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur laju korosi yang terjadi pada suatu logam. Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya berat material yang hilang setelah dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM G-31-72. Dengan menghitung massa logam yang telah dibersihkan dari oksida dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa awal lalu logam di biarkan pada suatu kondisi lingkungan korosif selama beberapa waktu tertentu. Setelah itu dilakukan penghitungan massa kembali

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



setelah dibersihkan dari hasil korosi yang terbentuk, dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Setelah didapat selisih beratnya, dimasukkan ke persamaan untuk mendapatkan nilai laju korosi logam yang diuji. Pengujian *weight loss* ini diujikan pada semua pipa logam setelah periode pengujian selama empat belas hari.



Gambar 3.13 Timbangan Digital

3.5 Rencana Pengujian

Rancangan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 3.6 Rancangan Penelitian

No	Lingkungan Luar	Temp. Fluida Dalam (°C)	Mikroskop Optik		SEM	XRD	Weight Loss
			Sebelum	Sesudah			
1	0 ppm	50	✓	✓			✓
	150 ppm		✓	✓			✓
	300 ppm		✓	✓			✓
	450 ppm		✓	✓			✓
	450 ppm					✓	✓
2	0 ppm	60	✓	✓			✓
	150 ppm		✓	✓			✓
	300 ppm		✓	✓			✓
	450 ppm		✓	✓			✓
	450 ppm					✓	✓
3	0 ppm	70	✓	✓			✓
	150 ppm		✓	✓			✓
	300 ppm		✓	✓			✓
	450 ppm		✓	✓			✓
	450 ppm					✓	✓



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

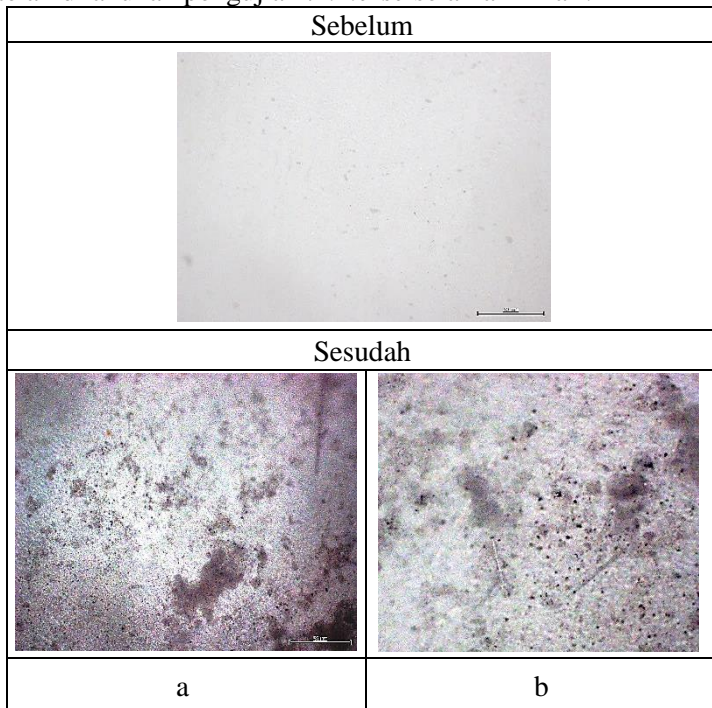
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

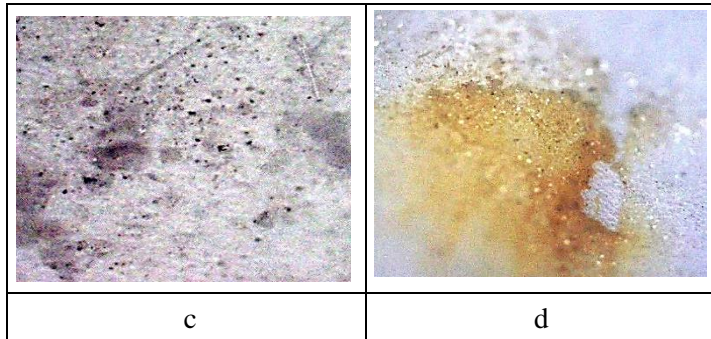
4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Pengamatan Mikroskop Optik

Pengamatan menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk mengetahui keadaan *coating* PTFE pada permukaan spesimen. Pada penelitian ini pengamatan menggunakan mikroskop optik dilakukan pada spesimen sebelum dan sesudah dilakukan pengujian dengan metode *immerse* selama 14 hari dengan perbesaran pada mikroskop optik sebesar 50X.

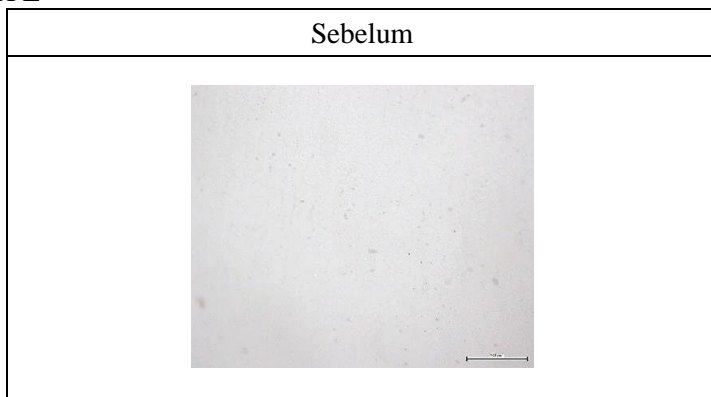
Dibawah ini merupakan hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik pada permukaan luar *coating* PTFE sebelum dan setelah dilakukan pengujian *immerse* selama 14 hari.

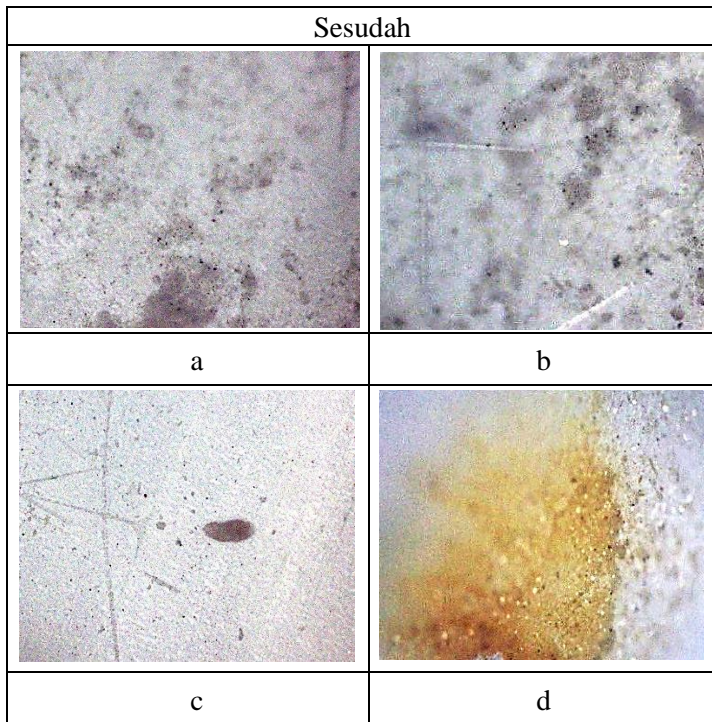




Gambar 4.1 Hasil pengamatan permukaan luar *coating* PTFE dengan mikroskop optik perbesaran 50X pada temperatur 50° C:(a) 0 ppm (b) 150 ppm (c) 300 ppm (d) 450 ppm NaCl.

Gambar 4.1 merupakan hasil pengamatan dengan mikroskop optik pada permukaan luar *coating* PTFE pada temperatur 50°C pengujian berturut-turut pada variasi lingkungan 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm NaCl. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa lapisan *coating* PTFE mulai mengalami degradasi atau kerusakan ditandai dengan perubahan warna menjadi kusam (kehitam-hitaman) dan pori-pori pada permukaan *coating* PTFE mulai terlihat membesar. Selain itu pada beberapa bagian sudah terbentuk lubang kecil dan sobekan pada permukaan PTFE



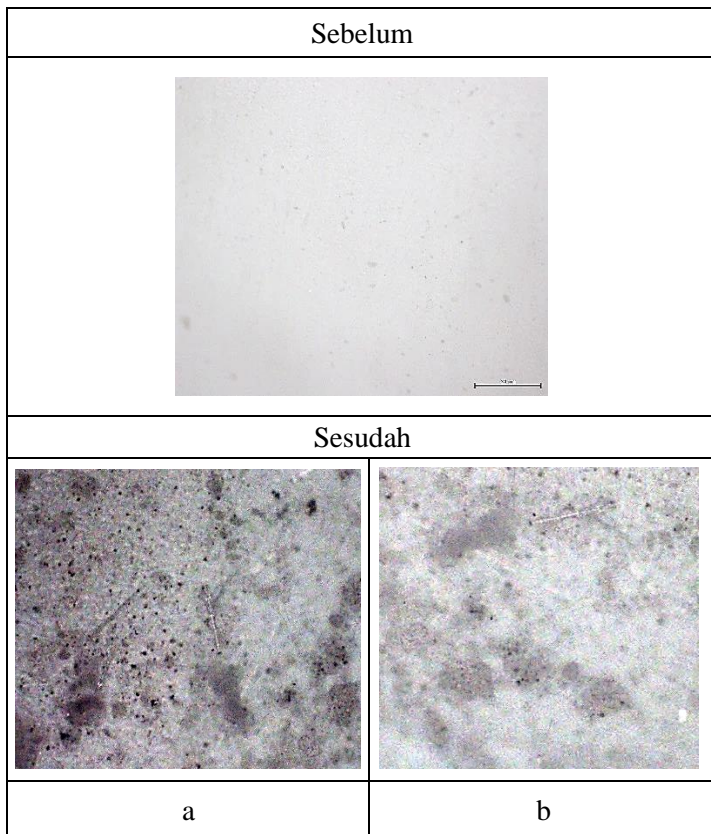


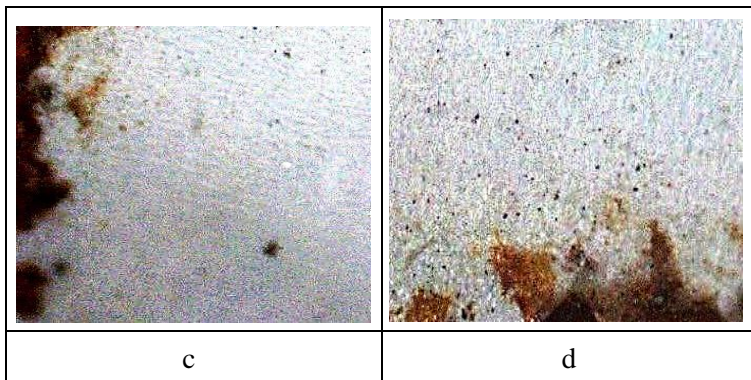
Gambar 4.2 Hasil pengamatan permukaan luar *coating* PTFE dengan mikroskop optik perbesaran 50X pada temperatur 60°C: (a) 0 ppm (b) 150 ppm (c) 300 ppm (d) 450 ppm NaCl.

Gambar 4.2 merupakan hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik pada permukaan luar *coating* PTFE pada temperatur 60°C pengujian berturut-turut pada variasi lingkungan 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm NaCl. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa lapisan *coating* PTFE mulai mengalami degradasi atau kerusakan ditandai dengan perubahan warna menjadi kusam (kehitam-hitaman) dan pori-pori pada permukaan *coating* PTFE mulai terlihat membesar. Selain itu pada beberapa bagian sudah terbentuk lubang kecil dan sobekan pada permukaan PTFE. Kemudian jika dibandingkan dengan temperatur 50°C kerusakan



yang dialami *coating* PTFE pada temperatur 60°C semakin parah ditandai dengan perubahan warna yang semakin kusam dan hitam selain itu pori-pori terlihat semakin membesar dan juga lubang-lubang kecil yang terbentuk juga semakin banyak. Pada lingkungan dengan konsentrasi 450 ppm NaCl pada temperatur 60°C lapisan pelindung PTFE sudah menunjukkan perubahan warna menjadi kuning kemerahan pada beberapa bagian hal ini menunjukkan bahwa produk korosi yang terbentuk sudah menghancurkan lapisan *coating* PTFE.





Gambar 4.3 Hasil pengamatan permukaan luar *coating* PTFE dengan mikroskop optik perbesaran 50X pada temperatur 70°C: (a) 0 ppm (b) 150 ppm (c) 300 ppm (d) 450 ppm NaCl.

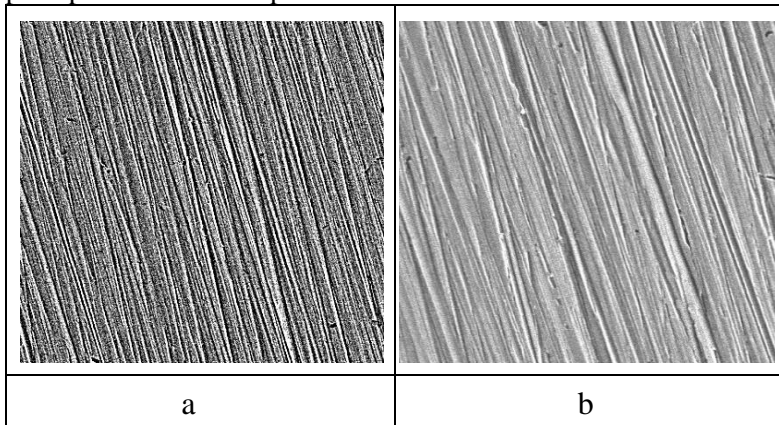
Gambar 4.3 merupakan hasil pengamatan permukaan luar *coating* PTFE menggunakan mikroskop optik pada permukaan luar pipa baja pada temperatur 70°C pengujian berturut-turut pada variasi lingkungan 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm NaCl. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa lapisan *coating* PTFE mulai mengalami degradasi atau kerusakan ditandai dengan perubahan warna menjadi kusam (kehitam-hitaman) dan pori-pori pada permukaan *coating* PTFE mulai terlihat membesar. Selain itu pada beberapa bagian sudah terbentuk lubang kecil dan sobekan pada permukaan PTFE. Kemudian jika dibandingkan dengan temperatur 50°C dan 60°C kerusakan yang dialami *coating* PTFE pada temperatur 70°C semakin parah ditandai dengan perubahan warna yang semakin kusam dan hitam selain itu pori-pori terlihat semakin membesar dan juga lubang-lubang kecil yang terbentuk juga semakin banyak. Pada lingkungan dengan konsentrasi 450 ppm NaCl pada temperatur 70°C lapisan pelindung PTFE sudah menunjukkan perubahan warna menjadi kuning kemerahan pada beberapa bagian hal ini menunjukkan bahwa produk korosi yang terbentuk sudah menghancurkan lapisan *coating* PTFE. Selain itu



pada beberapa bagian *coating* PTFE sudah terkelupas dan sudah terlihat permukaan spesimen yang terkorosi.

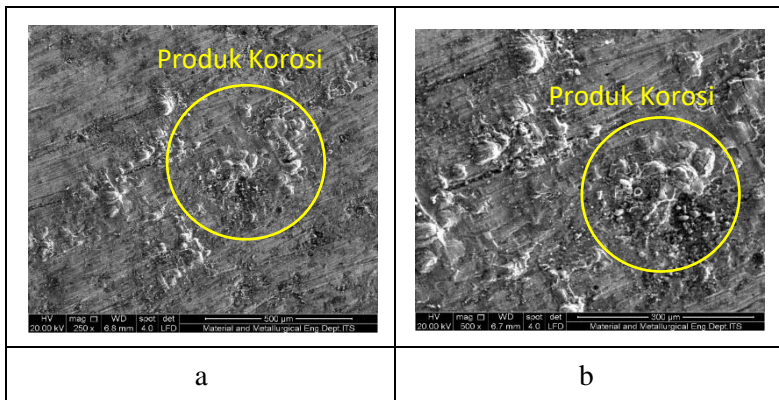
4.1.2 Hasil Pengujian *Scanning Electrone Microscope* (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dan topografi permukaan suatu material. Spesimen uji yang dipilih adalah spesimen di lingkungan konsentrasi 450 ppm NaCl pada temperatur 50° C, 60° C dan 70° C setelah dilakukan pengujian dengan metode *immerse* selama 14 hari. Selain itu dilakukan juga uji SEM pada material awal sebelum dilakukan pengujian *immerse* yang spesimen ini berfungsi untuk perbandingan. Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati morfologi dari korosi yang timbul pada permukaan luar spesimen.



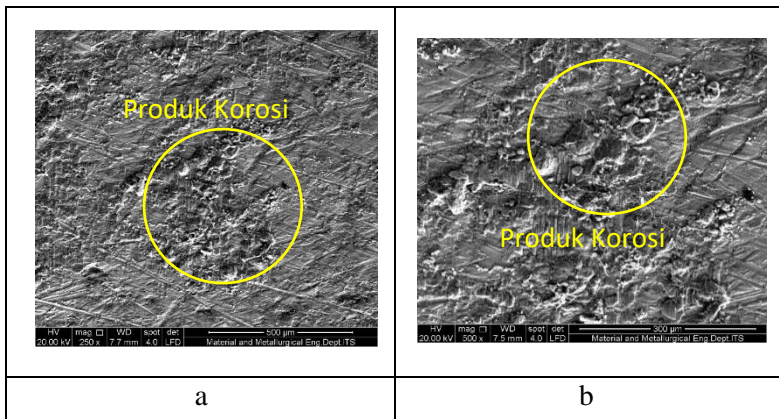
Gambar 4.4 Hasil SEM pada spesimen sebelum di *immerse*
(a) perbesaran 500x, (b) perbesaran 1500x

Pada Gambar 4.4 merupakan hasil uji SEM pada spesimen awal sebelum spesimen ini dilakukan pengujian *immerse*. Terlihat pada gambar diatas bahwa permukaan spesimen terlihat bersih dari produk korosi dan permukaan spesimen masih rata.



Gambar 4.5 Hasil SEM pada temperatur 50°C pada lingkungan konsentrasi 450 ppm NaCl: (a) perbesaran 250x, (b) perbesaran 500x

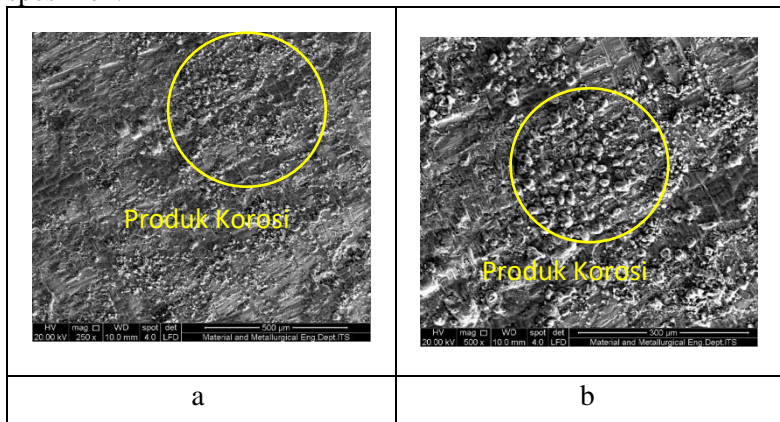
Pada Gambar 4.5 merupakan hasil uji SEM spesimen pada temperatur 50°C dan pada lingkungan 450 ppm NaCl. Tampak pada gambar diatas bahwa sebagian permukaan spesimen terlihat sebagian sudah mengalami korosi dengan ditandai produk korosi yang berbentuk bulatan timbul dipermukaan spesimen





Gambar 4.6 Hasil SEM pada temperatur 60° C pada lingkungan konsentrasi 450 ppm NaCl: (a) perbesaran 250x, (b) perbesaran 500x

Pada Gambar 4.6 merupakan hasil uji SEM pada spesimen pada temperatur 60°C dan pada lingkungan 450 ppm NaCl. Tampak pada gambar diatas bahwa permukaan spesimen terlihat sebagian sudah tertutup oleh oleh produk korosi dengan ditandai produk korosi yang berbentuk bulatan kecil sudah timbul dipermukaan spesimen dan persebarannya merata di permukaan spesimen.



Gambar 4.7 Hasil SEM pada temperatur 70° C pada lingkungan konsentrasi 450 ppm NaCl: (a) perbesaran 250x, (b) perbesaran 500x

Pada Gambar 4.7 merupakan hasil uji SEM spesimen pada temperatur 70°C dan pada lingkungan 450 ppm NaCl. Tampak pada gambar diatas bahwa permukaan spesimen terlihat sebagian sudah tertutup oleh produk korosi dengan ditandai produk korosi yang berbentuk bulatan kecil sudah timbul di permukaan spesimen dan persebarannya merata dipermukaan spesimen.

Dari beberapa gambar hasil pengujian SEM diatas dapat dilihat perbedaannya bahwa variasi temperatur mempengaruhi korosi yang terbentuk pada permukaan luar spesimen. Semakin meningkatnya temperatur fluida dalam yang dioperasikan pada

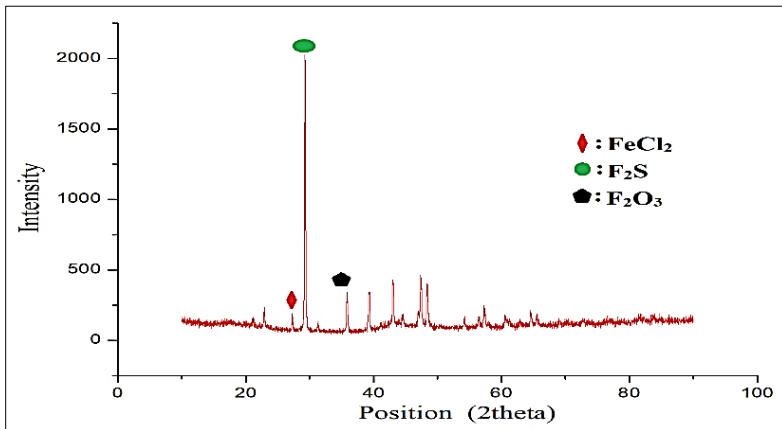
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



spesimen maka akan mempercepat kerusakan pada permukaan *coating* PTFE. Dengan rusaknya *coating* PTFE maka produk korosi yang terbentuk pada permukaan luar spesimen menjadi semakin banyak. Setelah melihat hasil dari pengujian SEM ini, dapat disimpulkan bahwa jenis korosi yang timbul pada permukaan luar spesimen merupakan jenis *uniform corrosion* dikarenakan produk korosi yang terbentuk tersebar merata pada permukaan luar spesimen.

4.1.3 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan pada spesimen pada lingkungan 450 ppm NaCl dan pada temperatur 70°C. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa apa yang terbentuk pada permukaan spesimen setelah dilakukan pengujian secara *immerse* selama 14 hari. Hasil XRD pada sampel dilakukan pencocokan berdasarkan *peak* yang muncul. Hasil dari pengujian ini berupa grafik dengan puncak intensitas dan data 2θ .



Gambar 4.8 Hasil Uji XRD

Pada Gambar 4.8 dengan adanya *peak* yang timbul mengindikasikan bahwa terbentuk senyawa-senyawa baru setelah dilakukan pengujian dengan variasi temperatur fluida dalam dan variasi lingkungan luar. Analisa hasil XRD dilakukan dengan menggunakan software *Highscore* untuk mengetahui senyawa



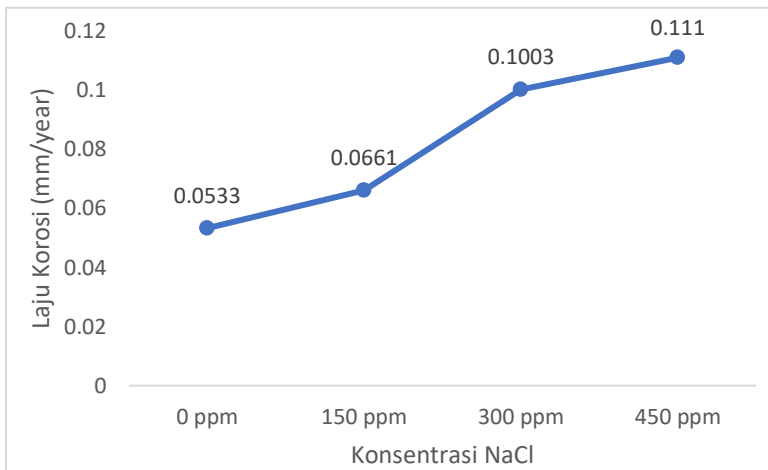
pada peak tertinggi hasil pengujian XRD. Dari hasil pengujian XRD pada pipa setelah pengujian 14 hari, didapatkan beberapa senyawa yang teridentifikasi. menghasilkan tiga buah *peak* antara lain FeCl_2 pada posisi 2 theta: 27.31, FeS pada posisi 2 theta: 29.30 dan peak terakhir yang terbentuk adalah Fe_2O_3 terletak pada posisi 2 theta: 35.84.

4.1.4 Hasil Pengujian *weight loss*

Pengujian *weight loss* dilakukan untuk mengetahui laju korosi dari pipa dengan mengukur selisih berat pipa sebelum dan setelah pengujian *immerse* selama 14 hari pada temperatur 50°C, 60°C dan 70°C di lingkungan dengan variasi konsentrasi 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm NaCl. Hasil pengujian *weight loss* pada temperatur 50°C dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Hasil Uji *weigh loss* pada temperatur 50°C

Nama Pipa	Konsentrasi NaCl (ppm)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/year)
1	0	0.0476	0.0533
2	150	0.0591	0.0661
3	300	0.0896	0.1003
4	450	0.0991	0.1110

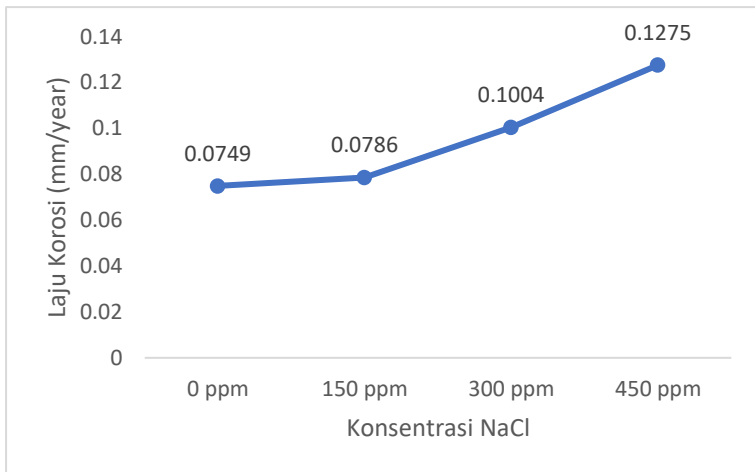


Gambar 4.9 Pengaruh Konsentrasi NaCl pada temperatur 50°C terhadap laju korosi permukaan luar pipa baja A53 Grade-B

Dari Gambar 4.9 dan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa laju korosi pada temperatur 50°C meningkat dengan kenaikan konsentrasi NaCl. Perhitungan laju korosi untuk variasi konsentrasi NaCl 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm secara berturut turut adalah sebesar 0.0533 mm/year, 0.0661 mm/year, 0.1003 mm/year, dan 0.1110 mm/year.

Tabel 4.2 Hasil Uji *weigh loss* pada temperatur 60°C

Nama Pipa	Konsentrasi NaCl (ppm)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/year)
1	0	0.0669	0.0749
2	150	0.0702	0.0786
3	300	0.0897	0.1004
4	450	0.1139	0.1275

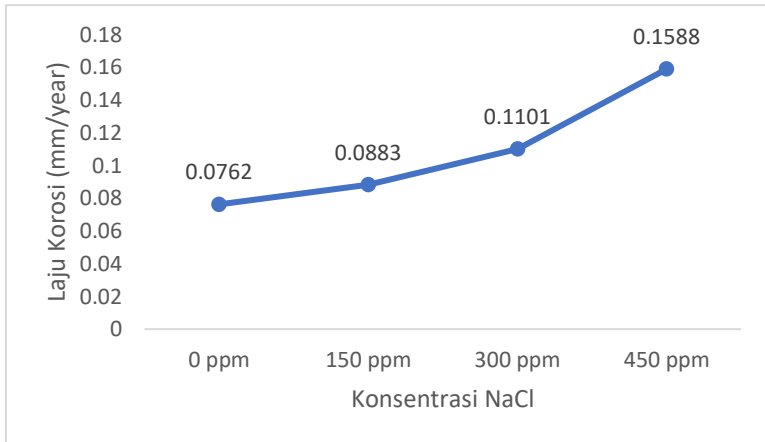


Gambar 4.10 Pengaruh Konsentrasi NaCl pada temperatur 60°C terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B

Dari Gambar 4.10 dan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa laju korosi pada temperatur 60°C meningkat dengan kenaikan konsentrasi NaCl. Perhitungan laju korosi untuk variasi konsentrasi NaCl 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm secara berturut turut adalah sebesar 0.0749 mm/year, 0.0786 mm/year, 0.1004 mm/year, dan 0.1275 mm/year.

Tabel 4.3 Hasil Uji *weigh loss* pada temperatur 70°C

Nama Pipa	Konsentrasi NaCl (ppm)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/year)
1	0	0.0681	0.0762
2	150	0.0789	0.0883
3	300	0.0983	0.1101
4	450	0.1418	0.1588

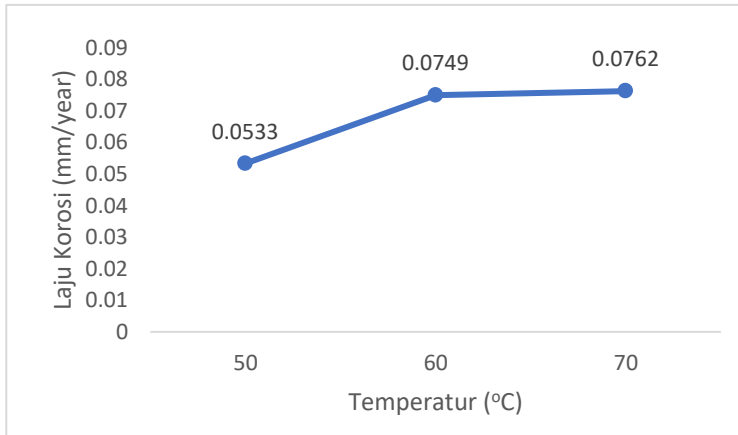


Gambar 4.11 Pengaruh Konsentrasi NaCl pada temperatur 70°C terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B

Dari Gambar 4.11 dan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa laju korosi pada temperatur 70°C meningkat dengan kenaikan konsentrasi NaCl. Perhitungan laju korosi untuk variasi konsentrasi NaCl 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm secara berturut turut adalah sebesar 0.0762 mm/year, 0.0883 mm/year, 0.1101 mm/year, dan 0.588 mm/year.

Tabel 4.4 Hasil Uji *weigh loss* pada konsentrasi 0 ppm NaCl

Temperatur (°C)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/year)
50	0.0476	0.0533
60	0.0669	0.0749
70	0.0681	0.0762

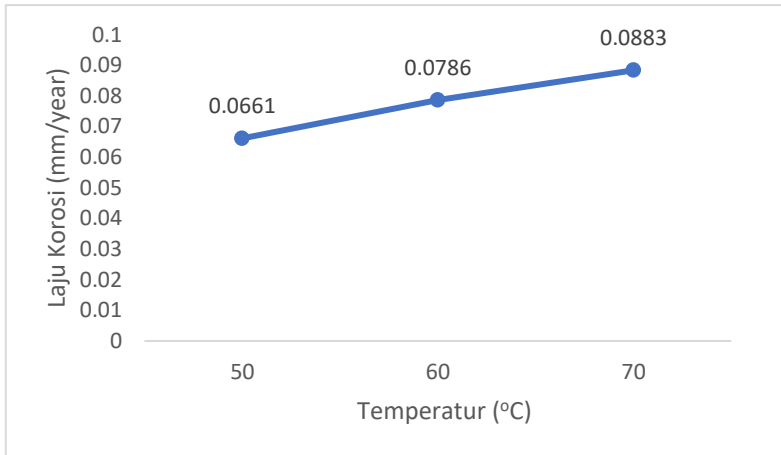


Gambar 4.12 Pengaruh temperatur pada konsentrasi 0 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B

Dari Gambar 4.12 dan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa laju korosi pada lingkungan dengan konsentrasi 0 ppm NaCl meningkat dengan kenaikan temperatur fluida dalam. Perhitungan laju korosi untuk variasi temperatur 50°C, 60°C dan 70°C secara berturut turut adalah sebesar 0.0533 mm/year, 0.0749 mm/year dan 0.0762 mm/year.

Tabel 4.5 Hasil Uji *weigh loss* pada konsentrasi 150 ppm NaCl

Temperatur (°C)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/year)
50	0.0591	0.0661
60	0.0702	0.0786
70	0.0789	0.0883

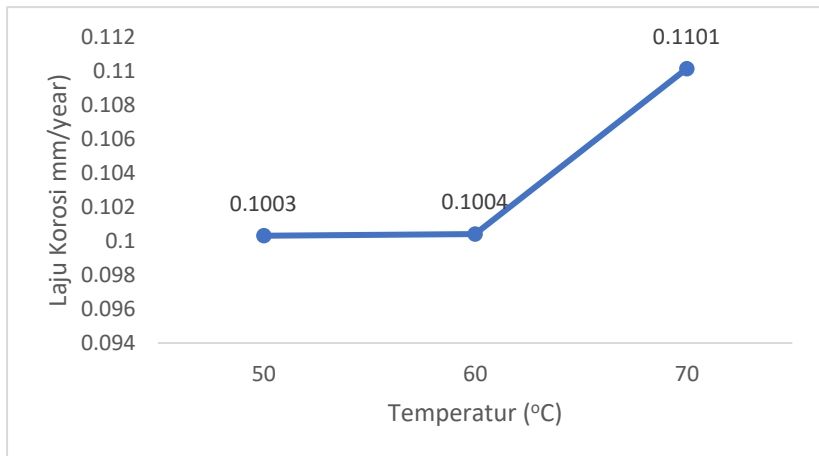


Gambar 4.13 Pengaruh temperatur pada konsentrasi 150 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B

Dari Gambar 4.13 dan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa laju korosi pada lingkungan dengan konsentrasi 150 ppm NaCl meningkat dengan kenaikan temperatur fluida dalam. Perhitungan laju korosi untuk variasi temperatur 50°C, 60°C dan 70°C secara berturut turut adalah sebesar 0.0661 mm/year, 0.0786 mm/year dan 0.0883 mm/year.

Tabel 4.6 Hasil Uji *weigh loss* pada konsentrasi 300 ppm NaCl

Temperatur (°C)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/year)
50	0.0896	0.1003
60	0.0897	0.1004
70	0.0983	0.1101

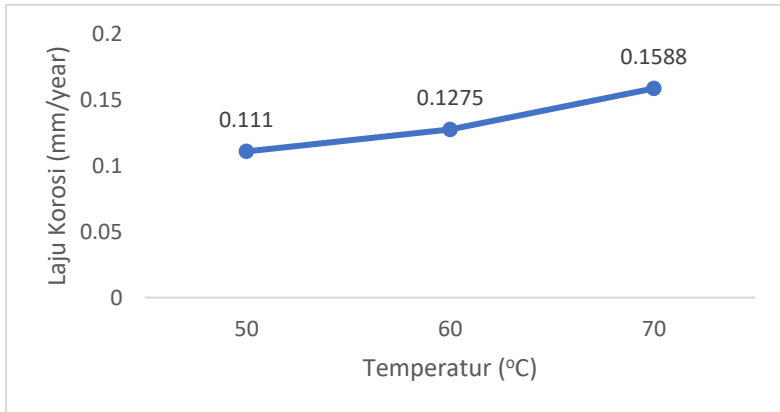


Gambar 4.14 Pengaruh temperatur pada konsentrasi 300 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B

Dari Gambar 4.14 dan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa laju korosi pada lingkungan dengan konsentrasi 300 ppm NaCl meningkat dengan kenaikan temperatur fluida dalam. Perhitungan laju korosi untuk variasi temperatur 50°C, 60°C dan 70°C secara berturut turut adalah sebesar 0.1003 mm/year, 0.1004 mm/year dan 0.1101 mm/year.

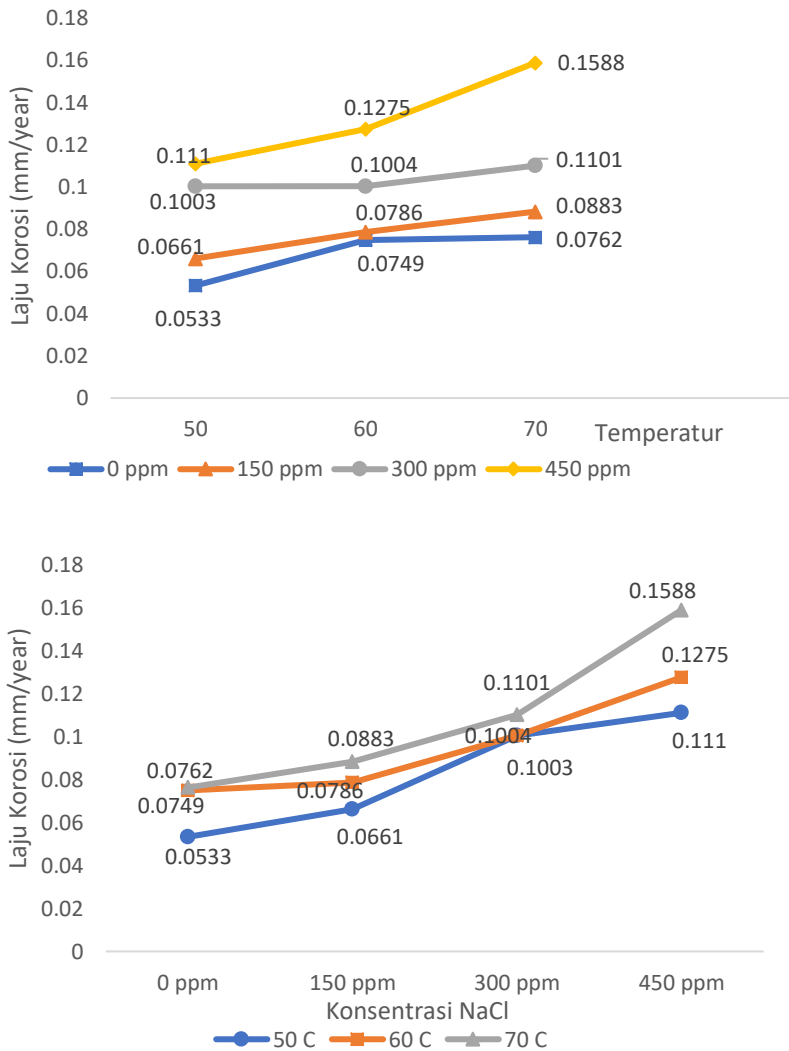
Tabel 4.7 Hasil Uji *weigh loss* pada konsentrasi 450 ppm NaCl

Temperatur (°C)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/year)
50	0.0991	0.1110
60	0.1139	0.1275
70	0.1418	0.1588



Gambar 4.15 Pengaruh temperatur pada konsentrasi 450 ppm NaCl terhadap laju korosi pada permukaan luar pipa baja A53 Grade-B

Dari Gambar 4.15 dan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa laju korosi pada lingkungan dengan konsentrasi 450 ppm NaCl meningkat dengan kenaikan temperatur fluida dalam. Perhitungan laju korosi untuk variasi temperatur 50°C, 60°C dan 70°C secara berturut turut adalah sebesar 0.1110 mm/year, 0.1275 mm/year dan 0.1588 mm/year.



Gambar 4.16 Perbandingan laju korosi di berbagai konsentrasi NaCl dan temperatur fluida dalam

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Dapat dilihat pada Gambar 4.16 bahwa dengan meningkatnya temperatur maka akan meningkatkan laju korosi. Selain itu kenaikan konsentrasi ppm NaCl juga akan meningkatkan laju korosi. Namun kenaikan konsentrasi ppm NaCl lebih berpengaruh terhadap peningkatan laju korosi dibanding kenaikan temperatur. Kenaikan temperatur lebih berpengaruh pada meningkatnya kerusakan pada *coating* PTFE. Dari data-data diatas dapat disimpulkan bahwa laju korosi pada permukaan luar pipa baja meningkat sebanding dengan meningkatnya konsentrasi NaCl dan temperatur fluida dalam.

Untuk mengetahui pengaruh temperatur fluida dalam dan variasi jenis lingkungan terhadap presentase kenaikan laju korosi dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel.4.8 Presentase laju korosi pada temperatur 50°C

Range konsentrasi NaCl (ppm)	Laju Korosi (mm/year)	Kenaikan Laju Korosi (%)
0	0.0533	0
150	0.0661	24.01
300	0.1003	88.18
450	0.110	106.37

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa presentase kenaikan laju korosi berdasarkan kenaikan konsentrasi NaCl pada temperatur 50°C akan meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi NaCl.

Tabel.4.9 Presentase laju korosi pada temperatur 60°C

Range konsentrasi NaCl (ppm)	Laju Korosi (mm/year)	Kenaikan Laju Korosi (%)
0	0.0749	0
150	0.0786	4.93
300	0.1004	34.04
450	0.1275	70.22

Pada Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa presentase kenaikan laju korosi berdasarkan kenaikan konsentrasi NaCl pada temperatur 60°C akan meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi NaCl.



Tabel.4.10 Presentase laju korosi pada temperatur 70°C

Range konsentrasi NaCl (ppm)	Laju Korosi (mm/year)	Kenaikan Laju Korosi (%)
0	0.0762	0
150	0.0883	15.87
300	0.1101	44.48
450	0.1588	108.39

Pada Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa presentase kenaikan laju korosi berdasarkan kenaikan konsentrasi NaCl pada temperatur 70°C akan meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi NaCl.

Tabel.4.11 Presentase laju korosi pada lingkungan 0 ppm NaCl

Range temperatur (°C)	Laju Korosi (mm/year)	Kenaikan Laju Korosi (%)
50	0.0533	0
60	0.0749	40.52
70	0.0762	42.96

Pada Tabel 4.11 dapat dilihat bahwa presentase kenaikan laju korosi berdasarkan kenaikan temperatur pada 0 ppm NaCl akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur fluida dalam.

Tabel.4.12 Presentase laju korosi pada lingkungan 150 ppm NaCl

Range temperatur (°C)	Laju Korosi (mm/year)	Kenaikan Laju Korosi (%)
50	0.0661	0
60	0.0786	18.91
70	0.0883	33.58

Pada Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa presentase kenaikan laju korosi berdasarkan kenaikan temperatur pada 150 ppm NaCl akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur fluida dalam.



Tabel.4.13 Presentase laju korosi pada lingkungan 300 ppm NaCl

Range temperatur (°C)	Laju Korosi (mm/year)	Kenaikan Laju Korosi (%)
50	0.1003	0
60	0.1004	0.09
70	0.1101	9.77

Pada Tabel 4.13 dapat dilihat bahwa presentase kenaikan laju korosi berdasarkan kenaikan temperatur pada 300 ppm NaCl akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur fluida dalam.

Tabel.4.14 Presentase laju korosi pada lingkungan 450 ppm NaCl

Range temperatur (°C)	Laju Korosi (mm/year)	Kenaikan Laju Korosi (%)
50	0.1110	0
60	0.1275	14.86
70	0.1588	43.06

Pada Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa presentase kenaikan laju korosi berdasarkan kenaikan temperatur pada 450 ppm NaCl akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur fluida dalam.

Dari tabel perhitungan diatas maka presentase kenaikan laju korosi berdasarkan setiap kenaikan konsentrasi NaCl lebih besar pengaruhnya jika dibandingkan dengan setiap kenaikan temperatur fluida dalam.

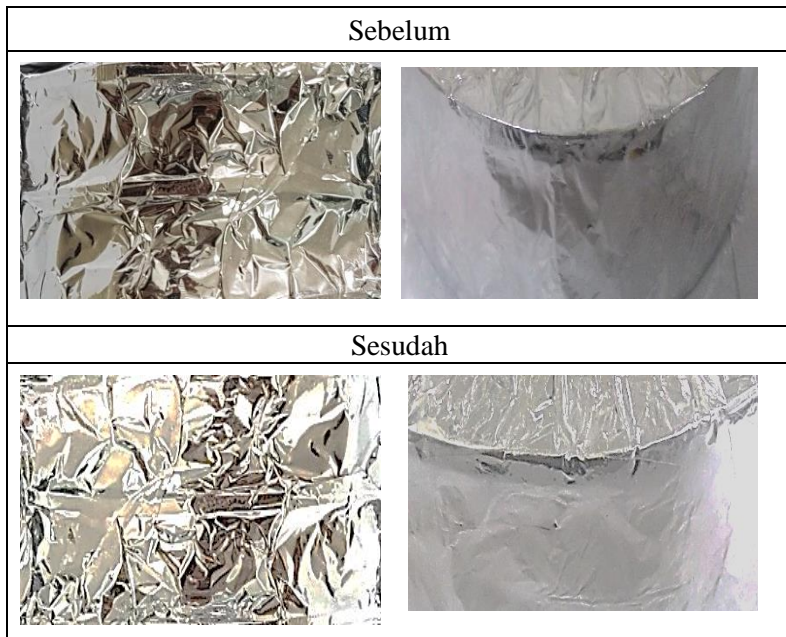
4.1.5 Perhitungan Konduktivitas Termal

Perhitungan nilai konduktivitas termal dilakukan untuk mengetahui perbedaan temperatur pada setiap lapisan yang ada. Sehingga temperatur tiap bagian dari lapisan dapat diketahui. Pada Tabel 4.15 konduktivitas termal dan temperatur setiap lapisan dari sistem insulasi dapat dilihat.



Tabel 4.15 Hasil perhitungan konduktivitas termal dan tempeatur tiap lapisan sistem CUI.

Jenis Lapisan	K (W/m°C)	R (Cm°C/W)	T (°C)
<i>Carbon Steel</i>	54	0.0023	49.9
PTFE	0.498	0.2518	49.3
<i>Silica Aerogels</i>	0.020	6.2709	34.55
Aluminium Foil	0.032	3.8476	25.04

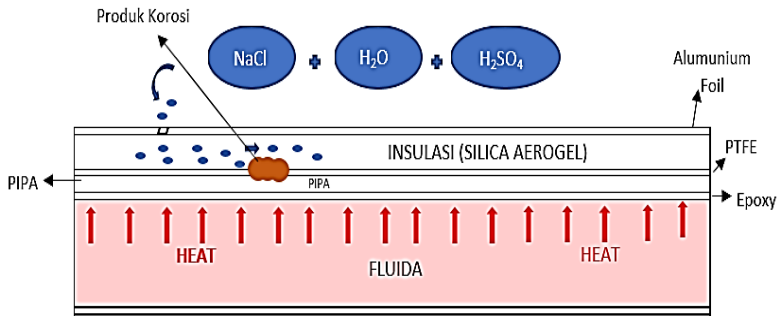


Gambar 4.17 Kondisi permukaan luar aluminium foil sebelum dan setelah perendaman

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa kondisi permukaan luar aluminium foil setelah dilakukan

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

perendaman selama 14 hari menunjukkan adanya degradasi atau kerusakan. Hal ini dapat dilihat bahwa kondisi permukaan aluminium foil terdapat lubang dan juga pelapukan pada beberapa bagian. Berdasarkan Gambar 4.17 terlihat juga sebagian fluida luar sudah berhasil masuk ke dalam sistem insulasi dan membuat material insulasi menjadi basah. Proses masuknya fluida luar dari lingkungan menuju pipa dapat dijelaskan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Skema terjadinya CUI pada pipa

4.1 Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi temperatur fluida dalam dan variasi kondisi lingkungan luar terhadap karakteristik CUI pada pipa baja karbon yang diinsulasi bahan *silica aerogel* dan aluminium foil serta *coating* PTFE. Variasi temperatur fluida dalam yang dioperasikan pada spesimen adalah 50°C, 60°C dan 70°C. Sementara variasi kondisi lingkungan luar yang digunakan adalah 0 ppm, 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm NaCl.

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil dari pengamatan dengan Mikroskop Optik menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya temperatur maka meningkatkan kerusakan yang dialami oleh *coating* PTFE. Seiring dengan meningkatnya kerusakan yang dialami oleh *coating* PTFE juga meningkatkan laju korosi. Hal ini dapat terjadi karena dengan rusaknya *coating* PTFE memperbanyak fluida (elektrolit) dari lingkungan luar yang dapat



kontak langsung dengan spesimen secara langsung. Selain itu dengan adanya lingkungan yang mengandung klorin akan menurunkan pH dan mempercepat laju korosinya. Dari Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa lapisan *coating* PTFE mulai mengalami degradasi ditandai dengan perubahan warna menjadi kusam (kehitam-hitaman) dan pori-pori pada permukaan *coating* PTFE mulai terlihat membesar. Selain itu pada beberapa bagian sudah terbentuk lubang kecil dan sobekan pada permukaan PTFE. Kemudian jika dibandingkan dengan temperatur 50°C dan 60°C kerusakan yang dialami *coating* PTFE pada temperatur 70°C semakin parah ditandai dengan perubahan warna yang semakin kusam dan hitam selain itu pori-pori terlihat semakin membesar dan juga lubang-lubang kecil yang terbentuk juga semakin banyak. Pada lingkungan dengan konsentrasi 450 ppm NaCl pada temperatur 70°C lapisan pelindung PTFE sudah menunjukkan perubahan warna menjadi kuning kemerahan pada beberapa bagian hal ini menunjukkan bahwa produk korosi yang terbentuk sudah menghancurkan lapisan *coating* PTFE. Selain itu pada beberapa bagian *coating* PTFE sudah terkelupas dan sudah terlihat permukaan spesimen yang terkorosi.

Untuk mengetahui jenis korosi yang dihasilkan dari penelitian maka dilakukan pengujian menggunakan alat *Scanning Electrone Microscope* (SEM). Dari Gambar 4.6 merupakan hasil pengujian SEM dapat dilihat perbedaannya bahwa variasi temperatur mempengaruhi korosi yang terbentuk pada permukaan luar spesimen. Pada spesimen dengan temperatur operasi 70° C persebaran korosi yang timbul dapat dikatakan lebih banyak jika dibandingkan dengan temperatur 50°C dan 60°C. Semakin meningkatnya temperatur fluida dalam pipa yang dioperasikan pada spesimen maka produk korosi yang terbentuk pada permukaan luar spesimen akan semakin banyak. Hal ini dapat terjadi karena dengan meningkatnya temperatur akan meningkatkan kerusakan pada *coating* PTFE yang merupakan tempat masuknya elektrolit dari luar untuk kontak langsung dengan spesimen. Setelah melihat hasil dari pengujian SEM ini, dapat

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



disimpulkan bahwa jenis korosi yang timbul pada permukaan luar spesimen merupakan jenis *uniform corrosion* karena produk korosi tersebar pada permukaan luar spesimen dan juga tidak terlihat sumuran (*pitting*) pada permukaan luar spesimen.

Terbentuknya korosi merata ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa pada sistem tertutup seperti yang ada pada sistem CUI elektrolit tidak dapat mengalami penguapan sempurna ke lingkungan luar karena tertutup oleh sistem insulasi maka elektrolit ini menjadi terperangkap dalam sistem insulasi. Hal ini yang menyebabkan korosi menjadi *uniform corrosion*. Dapat dilihat juga dari hasil SEM bahwa semakin meningkatnya temperatur juga akan membuat produk korosi yang timbul semakin banyak hal ini dapat terjadi karena dengan meningkatnya temperatur akan meningkatkan kerusakan *coating* PTFE yang menjadi tempat masuknya elektrolit dari luar. (Revie,2011)

Jenis korosi yang dapat kemungkinan terjadi pada permukaan luar pipa yang terinsulasi adalah *uniform corrosion*, *pitting corrosion*, *stress corrosion cracking* dan korosi akibat mikrobiologi. Namun pada hasil SEM tidak ditemukan adanya indikasi yang mengarah kepada jenis korosi yang lain. Untuk jenis-jenis korosi seperti *pitting corrosion* dan *stress corrosion cracking* pada umumnya terjadi pada material yang memiliki lapisan pelindung alami (lapisan pasivasi) seperti pada material *stainless steel* dan aluminium (Caines.2014)

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk menganalisa senyawa yang terkandung dalam suatu material. Hasil dari pengujian ini berupa grafik dengan puncak intensitas dan data 2θ . Pada Gambar 4.7 merupakan gambar hasil uji SEM untuk memastikan senyawa apa saja yang terbentuk maka dilakukan uji XRD. Analisa hasil XRD dilakukan dengan menggunakan software *Highscore* untuk mengetahui senyawa pada peak tertinggi hasil pengujian XRD. Dari hasil pengujian XRD pada pipa setelah pengujian 14 hari, didapatkan beberapa senyawa yang teridentifikasi. menghasilkan tiga buah *peak* antara lain FeCl_2 pada posisi 2 theta: 27.31, FeS pada posisi 2 theta: 29.30 dan peak

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

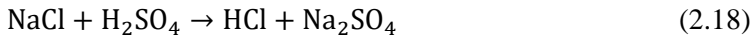


terakhir yang terbentuk adalah Fe_2O_3 terletak pada posisi 2 theta: 35.84. Spesimen yang terinsulasi mengalami reaksi dengan lingkungan yang ada dalam sistem insulasi. Lingkungan yang ada dalam sistem insulasi ini mengandung berbagai elektrolit antara lain NaCl , H_2SO_4 , air selain itu juga ada kandungan oksigen. Untuk reaksi yang terjadi antara spesimen dengan lingkungan dapat diterangkan dengan reaksi berikut ini.

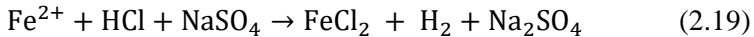
Reaksi di Anoda:



Reaksi di Katoda:



Reaksi Total



Pada reaksi diatas spesimen (Fe) bertindak sebagai anoda mengalami reaksi oksidasi disisi lain NaCl akan bereaksi dengan H_2SO_4 dan membentuk HCl . HCl ini akan bebrtindak sebagai katoda dan mengalami reaksi reduksi. Hasil dari reaksi antara Fe dengan HCl akan menghasilkan produk korosi berupa FeCl_2 (Michael,2006)

Reaksi di Anoda



Reaksi di Katoda



Reaksi Total



Pada reaksi diatas spesimen (Fe) bertindak sebagai anoda mengalami reaksi oksidasi disisi lain H_2SO_4 akan tereduksi membentuk SO_4^{2-} . Sulfat ini akan bebrtindak sebagai katoda dan mengalami reaksi reduksi. Hasil dari reaksi antara Fe dengan sulfat akan menghasilkan produk korosi berupa FeS (Michael,2006)

Reaksi di Anoda

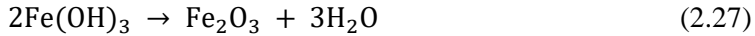
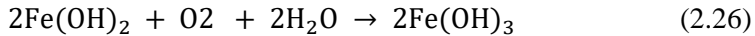
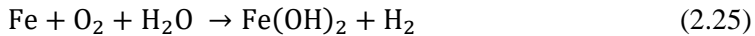


Reaksi di Katoda



Reaksi Total

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Pada reaksi diatas spesimen (Fe) bertindak sebagai anoda mengalami reaksi oksidasi disisi lain oksigen dan air akan akan bebrtindak sebagai katoda dan mengalami reaksi reduksi. Hasil dari reaksi antara Fe dengan air akan menghasilkan produk korosi berupa FeOH_2 (Vogel,1979)

Untuk mengetahui laju korosi dari penelitian ini maka dilakukan pengujian *weight loss*. Dari grafik pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa laju korosi spesimen pada berbagai temperature fluida dalam dan berbagai konsentrasi NaCl. Dari data laju korosi pada grafik dapat disimpulkan bahwa laju korosi pada permukaan luar spesimen meningkat sebanding dengan meningkatnya temperatur fluida dalam dan konsentrasi NaCl.

Hal ini sesuai dengan teori maupun penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa dengan kenaikan temperatur akan mempercepat kerusakan pada lapisan pelindung (*coating*) material sehingga akan mempercepat dan menjadi tempat infiltrasi elektrolit dari luar untuk berinteraksi langsung dengan spesimen. Dengan adanya kenaikan temperatur maka akan menyebabkan proses penguapan pada elektrolit. Namun karena ini merupakan sistem tertutup maka uap air tersebut akan terperangkap dalam material insulasi dan akan meningkatkan kelembapan. Laju korosi ini akan meningkat karena adanya kandungan unsur klorin yang bersifat korosif. Sehingga unsur-unsur yang bersifat korosif tersebut sangat dominan dalam meningkatkan laju korosi. (Xiaomin,2014).

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat perbandingan laju korosi pada temperatur 50°C, 60°C dan 70°C. Pada temperatur 70°C laju korosi meningkat secara sigfinikan. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa CUI digolongkan sebagai korosi atmosferik dengan faktor penyebab air. Hal ini disebabkan karena keberadaan air akibat dari kerusakan *coating* PTFE. Selain itu pada grafik Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa kenaikan konsentrasi klorin dalam suatu lingkungan jauh lebih dapat meningkatkan laju

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



korosi jika dibandingkan dengan kenaikan temperatur. (Syahmi,2008)

Dari hasil Tabel 4.12 perhitungan presentase laju korosi antara pengaruh temperatur fluida dalam dengan konsentrasi NaCl didapatkan bahwa setiap kenaikan konsentrasi NaCl lebih berpengaruh terhadap kenaikan laju korosi jika dibandingkan dengan kenaikan temperatur fluida dalam.

Pada Tabel 4.15 untuk menghitung konduktivitas termal dan temperatur masing-masing lapisan sistem insulasi yang digunakan terdapat perbedaan antara temperatur dalam fluida dengan lapisan-lapisan yang ada. Pada temperatur fluida dalam sebesar 50°C. Bagian dalam pipa menunjukkan temperatur sebesar 49.9 °C kemudian pada lapisan selanjutnya pada lapisan *coating* PTFE menunjukkan temperatur 49.3 °C lalu pada lapisan insulasi *silica aerogels* temperatur berkurang menjadi 34.11°C dan pada lapisan terakhir menggunakan aluminium foil temperatur berkurang menjadi 24.65°C. Terjadinya penurunan temperatur tiap lapisan pada sistem insulasi ini diakibatkan oleh adanya ketahanan termal yang berbeda-beda pada tiap material.

Pada Gambar 4.18 digambarkan bahwa mekanisme terjadinya CUI pada spesimen adalah diawali dengan rusaknya lapisan pelindung paling atas yaitu berupa lapisan aluminium foil. Aluminium foil ini mengalami kerusakan akibat terendam langsung dengan lingkungan air yang mengandung air, NaCl dan H₂SO₄. Selain itu lingkungan yang mengandung ion agresif seperti Cl⁻ akan menyebabkan terjadinya infiltrasi Cl⁻ ke dalam sistem insulasi. Masuknya ion Cl⁻ ini disebabkan karena selisih ukuran atom Cl dan rongga film relatif sedikit, yaitu 1.81 vs 1.40 angstrom. Setelah adanya proses infiltrasi oleh elektrolit dari lingkungan luar maka kemudian terjadilah proses absorpsi oleh material insulasi *silica aerogel*. Proses absorpsi yang terjadi di material insulasi *silica aerogel* ini dikarenakan adanya *permeability* yang dimiliki oleh *silica aerogel* ini. Proses absorpsi ini lama kelamaan membuat elektrolit dari lingkungan luar dapat mencapai permukaan *coating* PTFE. Disisi lain *coating* PTFE juga

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



terkena panas dari permukaan spesimen yang berisi fluida panas. Karena pengaruh panas dari fluida dalam pipa ini maka *coating* PTFE juga akan mengalami penurunan kualitas/degradasi yang menyebabkan pori-pori *coating* PTFE membesar dan juga pada beberapa bagian timbul lubang – lubang kecil dan bahkan ditemukan sobekan pada permukaan *coating* PTFE. Oleh karena adanya degradasi pada permukaan *coating* PTFE maka dapat menjadi pintu masuk bagi elektrolit dari lingkungan luar untuk bereaksi dengan permukaan spesimen. Peristiwa tersebut berlangsung berulang-ulang dalam jangka waktu yang cukup lama oleh karena itu akan timbul korosi diantara permukaan pipa dengan material insulasi.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi temperatur meningkatkan laju korosi, karena kenaikan temperatur dapat mempercepat perusakan *coating* PTFE. Oleh karena itu uap air (elektrolit) yang kontak langsung dengan spesimen semakin banyak. Semakin tinggi kandungan klorin dalam suatu lingkungan dapat meningkatkan laju korosi karena klorin menurunkan pH. Jenis korosi yang timbul pada permukaan luar pipa merupakan jenis korosi *uniform*.
2. Konsentrasi NaCl pada lingkungan luar lebih berpengaruh terhadap kenaikan laju CUI jika dibandingkan dengan variabel kenaikan temperatur fluida dalam.

V.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, terdapat beberapa saran yang mungkin dibutuhkan ketika melakukan penelitian lanjutan. Adapun diantaranya adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai CUI dengan menggunakan material pipa, bahan insulasi, bahan *coating* dan variasi lingkungan yang berbeda.
2. Pengujian XRD dilakukan pada berbagai temperatur dan variasi lingkungan agar dapat diketahui perbedaannya pada setiap variabel.
3. Melakukan pengujian SEM-EDX agar diketahui produk korosi yang terbentuk dan persebarannya.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- A. Dharma 2015.**Measurement of Corrosion Under Insulation and Effectiveness of Protective Coating**:Texas.
ASM Handbook 2003.
- Ashbaugh, W.G. and Landrie.T.F.1985.**A Study of Corrosion of Steel Under a Variety of Thermal Insulation Materials**.Philadelphia:USA.
- ASTM G189 - 07(2013) “**Standard Guide for Laboratory Simulation of Corrosion Under Insulation**”
- ASTM G31 - 72(2004) “**Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals**”
- Banrhart, J.M.1985.**The Function of Thermal Insulation**: Philadelphia, USA.
- Bayuseno. A.P. 2012.**Analisa Korosi Erosi Pada Baja Karbon Rendah dan Baja Karbon Sedang Akibat Air Laut**: Semarang.
- Bradford, S.2003.**Corrosion Control:Second Edition**. Canada:Casti Publishing Inc.
- Byars, H.G.1999.**Corrosion Control in Petroleum Production: Second Edition**. National Association of Corrosion Engineers International: Houston, Texas.
- Chacko, J., Ghalambor, A., Guo, B. and Song, S.2005.**Offshore Pipelines**.Elsevier, Oxford: United Kingdom.
- Faridz,2017.**Analisis Pengaruh Variasi Temperature pada Lingkungan Basah dan Kering Terhadap Karakteristik Korosi Pipa Baja Karbon Berbahan Insulasi Glasswool dan Alumunium Foil**.ITS:Surabaya.
- Fontana,M.G.1987.**Corrosion Engineering:Third Edition**. McGraw-Hill:Singapore.
- Frankel, M.2002.**Facility Piping System Handbook:Second Edition**. McGraw-Hill: New York, USA.
- Garverick, L.1994.**Corrosion in the Petrochemical Industry**. American Society for Testing and Materials International: USA.

- Hafiz,2014.**Evaluation of effect of temperature to Corrosion Under Insulation.**Petronas, Bandar Sri Bagawan
- Hilchie, M.J.1990.**Protective Coatings for Preventing Corrosion of Structural Steel in the Marine Environment.** Dalhousie University: Halifax, Canada.
- Jaico,2003.**Corrosion Control Principles & Practice:First Edition.**Jaico Publishing:2003.
- Jones, Denny A.,1996.**Principles and Prevention of Corrosion.**Maxwell Macmillanv: Singapura.
- Lamsaki,2007.**Corrosion Under Insulation on Offshore Facilities.**Dalhousie University:Canada.
- Landrum, R.J.1989.**Fundamentals of Designing for Corrosion.** National Association of Corrosion Engineers, Houston,;Texas.
- McIntyre,P.,**Corrosion Management for upstream Oil and Gas.** Corrosion Engineering, Journal of Science and technology,vol 38.2,April 2003
- Michael, Purba 2006.**KIMIA untuk SMA.**Erlangga:Jakarta.
- Moon, T, 2006.**Innovative Insulation Proves Viable for Offshore Production.**Offshore Magazine, vol. 66, no. 1, pp 78, Jan.
- Nagaiyar, Krishnamurthy.200.**Extractive Metallurgy of Rare Earths: Second Edition.**Japan.
- Nancy Grice McGowan, Dr. Dharma Abayarathna, Bob Heimann, Bill Dalton, David M.Price.**Innovative Environmentally Benign Solutions for Corrosion under Insulation (CUI) for Steam and Process Piping.**
- National Association of Corrosion Engineers,2010.**The Control of Corrosion Under Thermal Insulation and Fireproofing Materials – A System Approach.** NACE Standard RP0198-2010, NACE International, Houston: USA.
- NORSOK Standard. 1999.**Piping and Equipment Insulation.** :Norway.

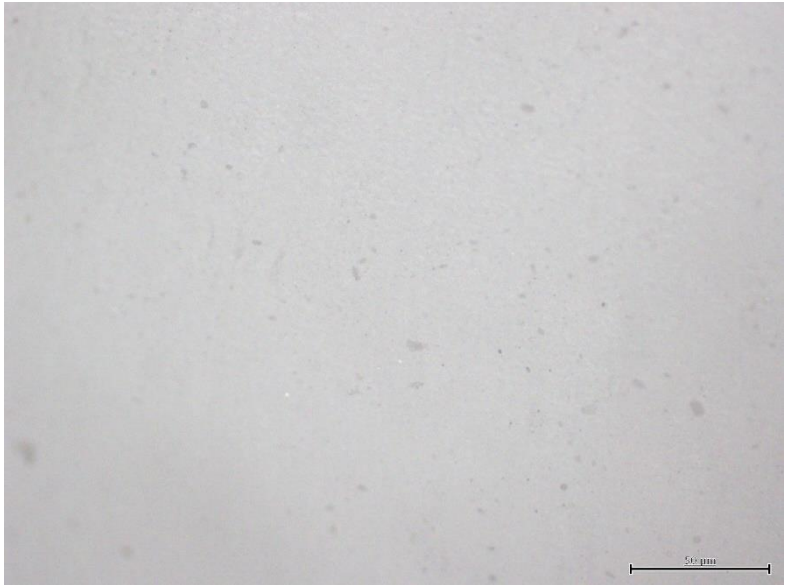
- Pawlowski, Lech . 2008.**The Science and Engineering of Thermal Spray Coating Second Edition**. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, John Wiley & Sons Ltd:England.
- Posteraro, K.,1999.**Thwart Corrosion under Insulation**. Chemical Engineering Progress, vol. 95, pp 43, Oct.
- Revie.R.W,2011.**Uhlig's Corrosion Handbokk:Third Edition**. Wiley:Canada.
- Schweitzer, P. A.2006.**Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and Media Corrosion of Metals**.Taylor and Francis Group, Boca Raton:USA.
- Sherwin,Wiliam.2017.**Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies**:United Kingdom.
- Sulistijono.1999.**Korosi**. ITS:Surabaya
- Susan,Caine, 2014.**Analysis of pitting corrosion on steel under insulation in marine environment Journal of Loss Prevention in the Process Industries**.
- S. Winnik. 2016.**Corrosion-Under-Insulation (CUI) Guidelines: Revised Edition**.Camridge: Elsevier
- Shevla.2005.**VOGEL Analisis Kualitatif Anorganik**.:Jakarta
- Watson,D.**National Insulation Standards**.Thermal Insulation Association of Canada, Canada, 2005.
- W.J Batty. 2006. “**Corrosion Under Insulation**.” Applied Energy 16 (1984) 239-247
- www. Jotun.com

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

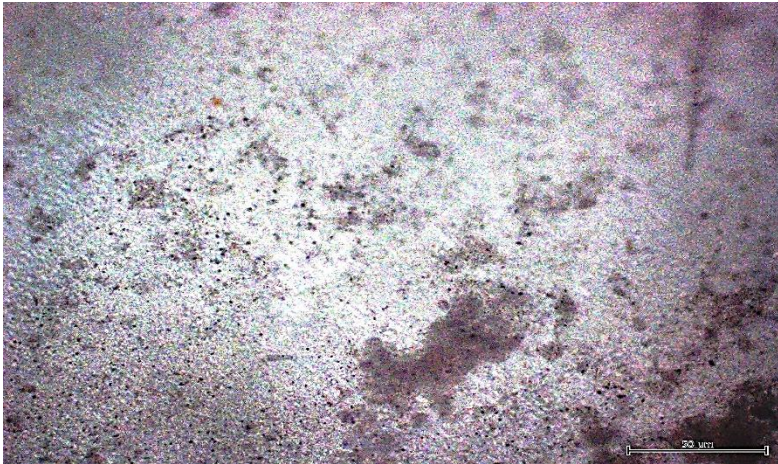
Lampiran 1

Gambar hasil mikroskop optik permukaan *coating* PTFE sebelum perendaman



Gambar permukaan awal *coating* PTFE

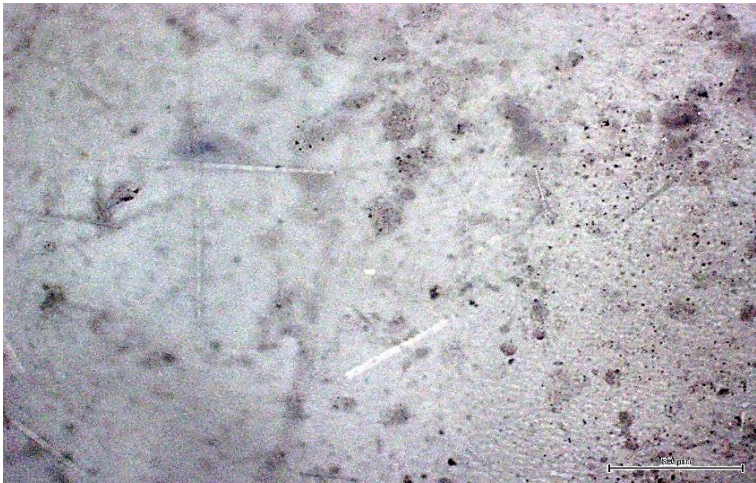
Gambar hasil mikroskop optik permukaan coating PTFE setelah perendaman



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 0 ppm NaCl (50°C)



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 150 ppm NaCl (50°C)



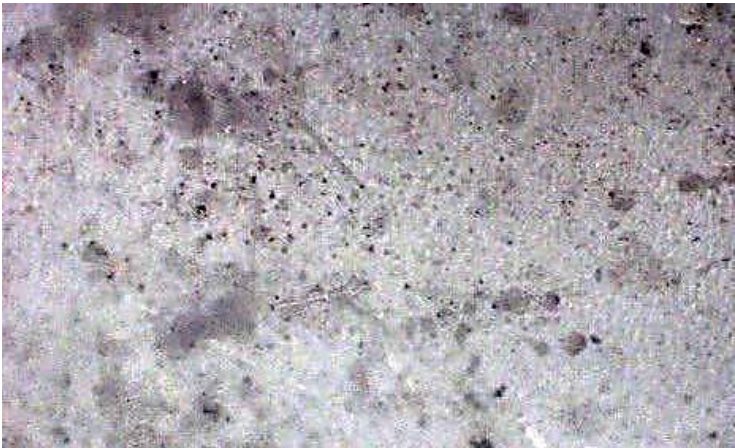
Gambar permukaan *coating* PTFE pada 300 ppm NaCl (50°C)



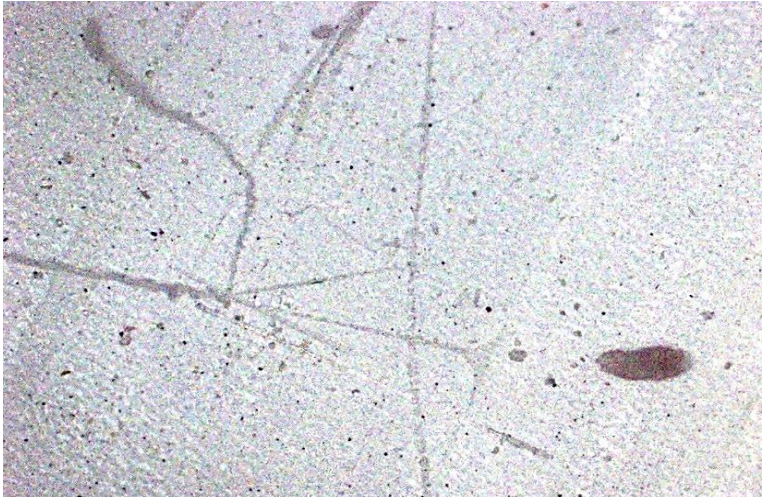
Gambar permukaan *coating* PTFE pada 450 ppm NaCl (50°C)



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 0 ppm NaCl (60°C)



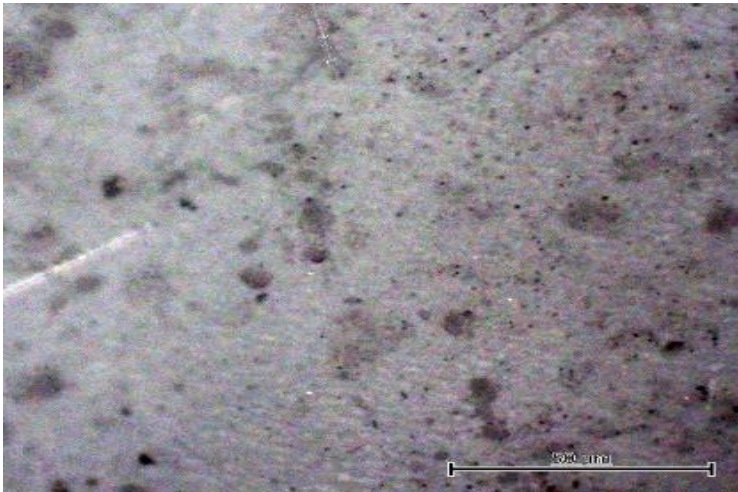
Gambar permukaan *coating* PTFE pada 150 ppm NaCl (60°C)



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 300 ppm NaCl (60°C)



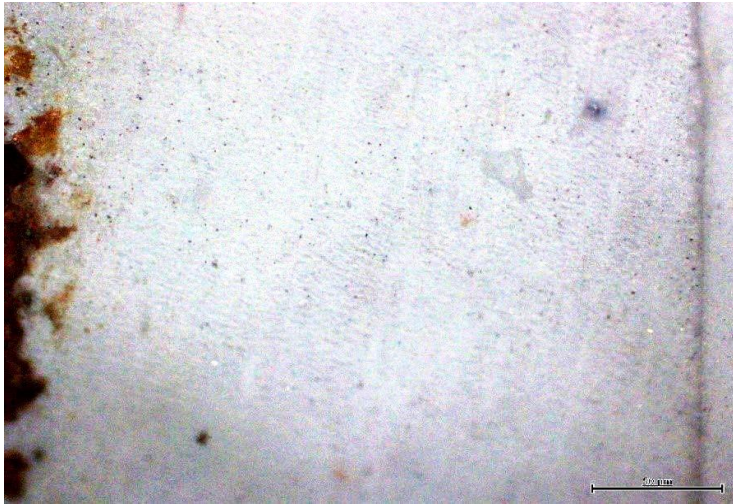
Gambar permukaan *coating* PTFE pada 450 ppm NaCl (60°C)



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 0 ppm NaCl (70°C)



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 150 ppm NaCl (70°C)



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 300 ppm NaCl (70°C)



Gambar permukaan *coating* PTFE pada 450 ppm NaCl (70°C)

Lampiran 2

Perhitungan *Weight Loss*

No Pipa	Jenis Lingkungan	Temperatur	Berat Pipa Sebelum (gr)	Berat Pipa Setelah (gr)	Selisih
1	0 PPM	50	72.4041	72.3565	0.0476
2	150 PPM	50	75.7194	75.6603	0.0591
3	300 PPM	50	70.1871	70.0975	0.0896
4	450 PPM	50	71.2143	71.1152	0.0991

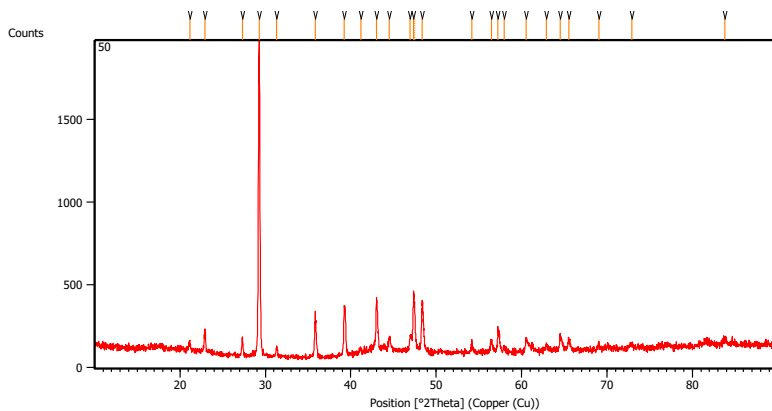
No Pipa	Jenis Lingkungan	Temperatur	Berat Pipa Sebelum (gr)	Berat Pipa Setelah (gr)	Selisih
1	0 PPM	60	75.9874	75.9205	0.0669
2	150 PPM	60	74.7062	74.636	0.0702
3	300 PPM	60	70.7826	70.6929	0.0897
4	450 PPM	60	72.0868	71.9729	0.1139

No Pipa	Jenis Lingkungan	Temperatur	Berat Pipa Sebelum (gr)	Berat Pipa Setelah (gr)	Selisih
1	0 PPM	70	70.7067	70.6386	0.0681
2	150 PPM	70	78.5187	78.4398	0.0789
3	300 PPM	70	72.8387	72.7404	0.0983
4	450 PPM	70	74.5849	74.4431	0.1418

PERHITUNGAN LAJU KOROSI						
pipa nilai K (mm/y)	kehilangan berat (gr)	luas permukaan (cm ²)	waktu kontak (jam)	massa jenis (gr/mm ³)	laju korosi (mm/y)	
Temperatur 50						
1 87500	0.0476	29.5788	336	7.86	0.05331785	
2 87500	0.0591	29.5788	336	7.86	0.066199264	
3 87500	0.0896	29.5788	336	7.86	0.100363012	
4 87500	0.0991	29.5788	336	7.86	0.11100418	
Temperatur 60						
1 87500	0.0669	29.5788	336	7.86	0.074936222	
2 87500	0.0702	29.5788	336	7.86	0.078632628	
3 87500	0.0897	29.5788	336	7.86	0.100475025	
4 87500	0.1139	29.5788	336	7.86	0.127581999	
Temperatur 70						
1 87500	0.0681	29.5788	336	7.86	0.07628037	
2 87500	0.0789	29.5788	336	7.86	0.088377697	
3 87500	0.0983	29.5788	336	7.86	0.110108082	
4 87500	0.1418	29.5788	336	7.86	0.158833428	

Lampiran 3

1. Hasil Pengujian XRD



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.1409	53.56	0.1338	4.20256	2.92
22.9157	142.96	0.1004	3.88094	7.80
27.3126	111.02	0.1004	3.26534	6.05
29.3016	1833.95	0.1840	3.04806	100.00
31.3366	59.26	0.1338	2.85461	3.23
35.8472	233.18	0.1673	2.50509	12.71
39.2211	265.37	0.1004	2.29702	14.47
41.1625	39.40	0.2342	2.19306	2.15
42.9941	324.77	0.1004	2.10378	17.71
44.5335	99.29	0.1673	2.03457	5.41
46.9512	109.82	0.1338	1.93528	5.99
47.3580	356.57	0.1224	1.91802	19.44
47.4941	265.43	0.1224	1.91759	14.47
48.3528	283.18	0.2448	1.88086	15.44
54.2071	49.74	0.1428	1.69074	2.71
56.4754	68.37	0.2448	1.62809	3.73
57.2303	128.70	0.1020	1.60839	7.02

57.9628	27.04	0.2448	1.58980	1.47
60.5330	78.66	0.2040	1.52830	4.29
62.9380	34.91	0.2448	1.47556	1.90
64.5014	105.02	0.1020	1.44352	5.73
65.5430	61.23	0.3264	1.42308	3.34
69.0650	31.78	0.3264	1.35885	1.73
72.9457	30.16	0.4896	1.29584	1.64
83.8227	34.11	0.4896	1.15318	1.86

2. ICDD Card

a. Peak1

Name and formula

Reference code: 01-078-6916

Compound name: Iron Oxide

Empirical formula: Fe_2O_3

Chemical formula: Fe_2O_3

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	4.82430	18.376	4.6
2	2	2	0	2.95430	30.228	36.7
3	3	1	1	2.51940	35.606	100.0
4	2	2	2	2.41220	37.245	2.1
5	4	0	0	2.08900	43.276	36.7
6	3	3	1	1.91700	47.385	0.1
7	4	2	2	1.70570	53.693	10.3
8	5	1	1	1.60810	57.242	29.0
9	4	4	0	1.47720	62.860	51.2
10	5	3	1	1.41240	66.102	0.4
11	4	4	2	1.39270	67.160	0.1
12	6	2	0	1.32120	71.328	3.2
13	5	3	3	1.27430	74.384	6.3
14	6	2	2	1.25970	75.395	0.4
15	4	4	4	1.20610	79.385	3.3
16	7	1	1	1.17010	82.344	0.3
17	6	4	2	1.11660	87.238	3.1
18	7	3	1	1.08790	90.155	8.5
19	8	0	0	1.04450	95.035	4.5
20	7	3	3	1.02080	97.982	0.1
21	6	4	4	1.01330	98.962	0.1
22	8	2	2	0.98480	102.923	1.4
23	7	5	1	0.96490	105.940	4.6
24	6	6	2	0.95850	106.960	0.2
25	8	4	0	0.93420	111.087	3.1
26	9	1	1	0.91720	114.246	0.1
27	8	4	2	0.91170	115.324	0.1
28	6	6	4	0.89080	119.703	0.6
29	9	3	1	0.87590	123.149	3.5
30	8	4	4	0.85280	129.180	9.2
31	9	3	3	0.83980	133.052	0.1
32	10	2	0	0.81940	140.129	1.6
33	9	5	1	0.80780	144.947	4.4
34	10	2	2	0.80410	146.657	0.3

b. Peak 2

Name and formula

Reference code: 01-076-0963

Compound name: Iron Sulfide

Empirical formula: FeS

Chemical formula: FeS

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	1	4.18040	21.237	0.7
2	0	0	2	3.00160	29.740	47.4
3	0	1	1	3.00160	29.740	47.4
4	2	0	0	2.91250	30.672	4.6
5	1	1	1	2.66820	33.560	41.3
6	1	0	2	2.66820	33.560	41.3
7	2	1	0	2.22980	40.419	0.3
8	1	1	2	2.11420	42.735	2.3
9	2	1	1	2.09020	43.250	100.0
10	2	0	2	2.09020	43.250	100.0
11	1	0	3	1.89240	48.039	1.0
12	3	0	1	1.84740	49.286	0.4
13	2	1	2	1.78990	50.981	0.1
14	0	1	3	1.73290	52.785	34.5
15	0	2	0	1.73290	52.785	34.5
16	1	1	3	1.66100	55.260	0.1
17	2	0	3	1.64930	55.686	0.1
18	3	0	2	1.63030	56.392	6.0
19	3	1	1	1.63030	56.392	6.0
20	1	2	1	1.60090	57.523	0.1
21	0	2	2	1.50080	61.762	2.9
22	0	0	4	1.50080	61.762	2.9

23	2	1	3	1.46930	62.292	1.6
24	2	2	0	1.46930	62.292	1.6
25	3	1	2	1.47520	62.955	0.1
26	4	0	0	1.45620	63.873	5.5
27	1	2	2	1.45330	64.016	4.1
28	1	0	4	1.45330	64.016	4.1
29	4	0	1	1.41520	65.954	0.1
30	3	0	3	1.39380	67.116	0.2
31	1	1	4	1.34020	70.166	0.7
32	2	0	4	1.33410	70.535	12.6
33	2	2	2	1.33410	70.535	12.6
34	4	0	2	1.31020	72.020	2.9
35	4	1	1	1.31020	72.020	2.9
36	1	2	3	1.27810	74.126	0.3
37	3	2	1	1.26390	75.101	0.1
38	2	1	4	1.24500	76.445	0.1
39	4	1	2	1.22560	77.880	0.1
40	2	2	3	1.19470	80.296	0.1
41	3	0	4	1.18740	80.892	1.6
42	3	2	2	1.18740	80.892	1.6
43	1	0	5	1.17590	81.650	0.3
44	5	0	1	1.14370	84.678	0.1
45	0	3	1	1.13450	85.528	1.0
46	0	1	5	1.13450	85.528	1.0
47	3	1	4	1.12330	86.589	0.5
48	4	1	3	1.11490	87.405	8.5
49	4	2	0	1.11490	87.405	8.5
50	1	1	5	1.11360	87.533	3.3
51	1	2	4	1.11360	87.533	3.3
52	4	2	1	1.09620	89.288	0.1
53	3	2	3	1.08610	90.345	1.2
54	5	1	1	1.08610	90.345	1.2
55	2	3	0	1.07390	91.663	0.1
56	2	1	5	1.05710	93.554	7.5
57	2	3	1	1.05710	93.554	7.5
58	4	0	4	1.04510	94.963	0.7
59	4	2	2	1.04510	94.963	0.7
60	5	1	2	1.03640	96.017	0.2
61	3	0	5	1.02120	97.930	0.1
62	5	0	3	1.00680	99.831	0.1
63	0	3	3	1.00050	100.693	2.5
64	0	0	6	1.00050	100.693	2.5
65	1	0	6	0.98610	102.733	0.1

66	1	3	3	0.98610	102.733	0.1
67	3	1	5	0.97950	103.705	1.5
68	3	2	4	0.97950	103.705	1.5
69	1	2	5	0.97300	104.685	0.2
70	6	0	0	0.97080	105.022	0.1
71	5	1	3	0.96680	105.642	0.1
72	6	0	1	0.95940	106.977	0.1
73	5	2	1	0.95450	107.611	0.1
74	1	1	6	0.94840	108.625	0.2
75	2	0	6	0.94630	108.980	0.1
76	2	3	3	0.94630	108.980	0.1
77	3	3	2	0.94260	109.612	0.1
78	2	2	5	0.93490	110.962	0.1
79	6	1	0	0.93490	110.962	0.1
80	6	1	1	0.92370	113.009	2.2
81	6	0	2	0.92370	113.009	2.2
82	5	0	4	0.92030	113.651	0.6
83	5	2	2	0.92030	113.651	0.6
84	2	1	6	0.91280	115.106	0.1
85	1	3	4	0.90440	116.800	0.1
86	4	3	1	0.89500	118.794	0.5
87	4	1	5	0.89500	118.794	0.5
88	3	0	6	0.88940	120.015	0.1
89	5	1	4	0.88940	120.015	0.1
90	3	2	5	0.87980	122.218	0.1
91	2	3	4	0.87350	123.734	0.1
92	6	0	3	0.87350	123.734	0.1
93	5	2	3	0.87050	124.477	0.1
94	0	4	0	0.86650	125.490	1.5
95	0	2	6	0.86650	125.490	1.5
96	3	1	6	0.86150	126.796	0.2
97	1	2	6	0.85700	128.010	0.1
98	1	4	1	0.84840	130.446	0.1
99	1	0	7	0.84840	130.446	0.1
100	6	2	0	0.84700	130.858	0.1
101	6	1	3	0.84700	130.858	0.1
102	6	2	1	0.83870	133.400	0.1
103	5	0	5	0.83610	134.234	0.1
104	0	1	7	0.83250	135.423	0.2
105	0	4	2	0.83250	135.423	0.2
106	2	4	0	0.83050	136.101	0.1
107	2	2	6	0.83050	136.101	0.1
108	3	3	4	0.82810	136.933	0.1

c. Peak 3
Name and formula

Reference code: 00-016-0123
 Compound name: Iron Chloride Hydrate
 Empirical formula: $\text{Cl}_2\text{FeH}_6\text{O}_4$
 Chemical formula: $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	5.50000	16.102	85.0
2	1	1	0	5.33000	16.619	80.0
3	-1	1	1	4.39000	20.212	30.0
4	0	1	1	4.36000	20.352	16.0
5	-2	0	1	3.97000	22.376	100.0
6	0	2	0	3.59000	24.780	2.0
7	2	1	0	3.48000	25.577	25.0
8	1	1	1	3.43000	25.956	10.0
9	1	2	0	3.27000	27.250	2.0
10	0	2	1	3.01000	29.655	65.0
11	-2	0	2	2.77700	32.208	45.0
12	-1	1	2	2.72600	32.828	8.0
13	-2	2	1	2.66300	33.627	16.0
14	-3	1	1	2.62100	34.183	10.0
15	2	1	1	2.59100	34.591	1.0
16	0	1	2	2.56700	34.925	4.0
17	3	1	0	2.48500	36.116	6.0
18	1	3	0	2.29300	39.259	2.0
19	-3	1	2	2.26200	39.819	6.0
20	1	1	2	2.23200	40.378	4.0
21	-2	2	2	2.19700	41.050	40.0
22	0	2	2	2.18200	41.345	40.0
23	-4	0	1	2.12900	42.423	35.0
24	2	3	0	2.05100	44.119	4.0
25	1	3	1	2.04200	44.324	2.0
26	3	1	1	2.02200	44.786	2.0
27	-3	2	2	1.98600	45.643	4.0
28	1	2	2	1.96500	46.159	1.0
29	-2	0	3	1.95300	46.459	1.0
30	4	1	0	1.91400	47.464	4.0
31	2	1	2	1.88600	48.213	4.0
32	-1	1	3	1.87800	48.431	2.0
33	-1	3	2	1.85800	48.986	2.0
34	0	0	3	1.83300	49.699	20.0
35	-3	3	1	1.82400	49.961	2.0
36	0	3	2	1.80500	50.524	2.0
37	0	4	0	1.79600	50.795	6.0
38	3	3	0	1.77600	51.409	2.0
39	4	2	0	1.73900	52.585	16.0

Lampiran 4

Perhitungan pH lingkungan luar

- Mencari Molaritas (M) H₂SO₄

$$M = \frac{10 \cdot \% \cdot \text{berat jenis}}{M_r}$$

$$M = \frac{10 \cdot 10 \cdot 1.84 \text{ g/ml}}{98.08}$$

$$M = 1.87$$

- Melakukan pengenceran

Pengenceran I

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1.87 \cdot 1 \text{ ml} = M_2 \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$M_2 = 1.87 \cdot 10^{-3}$$

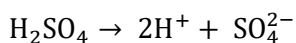
Pengenceran II

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$1.87 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \text{ ml} = M_2 \cdot 1000 \text{ ml}$$

$$M_2 = 1.87 \cdot 10^{-6}$$

- Menghitung pH larutan lingkungan luar



$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

$$\text{pH} = -\log[2 \cdot 1.87 \cdot 10^{-6}]$$

$$\text{pH} = 6 - \log(3.74)$$

$$\text{pH} = 5.427$$

Lampiran 5

Menghitung Konduktivitas Termal dan Perbedaan temperatur tiap lapisan pada sistem CUI

Jenis Lapisan	K (W/m°C)	R (cm.°C/W)	ΔT (°C)
Carbon Steel	54	0.0023	49.99
Epoxy	0.498	0.2518	49.3
Silica Aerogels	0.020	6.2709	34.55
Aluminium Foil	0.032	3.8476	25.04

Diketahui : K CarbonSteel = 54 W/m°C
 K PTFE = 0.498 W/m°C
 K Silica Aerogels = 0.020 W/m°C
 K Aluminium Foil = 0.032 W/m°C

Rumus :

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

$$R_{\text{conduction}} = \frac{L}{K.A}$$

$$R = \sum R_i$$

$$\Delta T = Q.R$$

$$T_{i+1} = t_i - \Delta T_i$$

$$R_{\text{conduction}} = \frac{L}{K.A}$$

$$A = 2\pi r t$$

$$= 2 \times 3.14 \times 1.27 \times 3 = 23.92 \text{ cm}^2$$

$$R_1 = \frac{3}{54 \times 23.92} = 0.0023 \text{ cm.}^\circ\text{C/W}$$

$$R_2 = \frac{3}{0.498 \times 23.92} = 0.2518 \text{ cm.}^\circ\text{C/W}$$

$$R_3 = \frac{3}{0.02 \times 23.92} = 6.2709 \text{ cm.}^\circ\text{C/W}$$

$$R_4 = \frac{3}{0.0326 \times 23.92} = 3.8476 \text{ cm.}^\circ\text{C/W}$$

$$R = \sum R_i$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R = 10.3726 \text{ cm.}^\circ\text{C/W}$$

$$Q = \frac{\Delta T}{R}$$

$$= \frac{50 - 24}{10.3726}$$

$$= 2.5066 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= Q \cdot R_1 \\ &= 2.5066 \times 0.0023 = 0.005765 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_2 &= Q \cdot R_2 \\ &= 2.5066 \times 0.2518 = 0.0631 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_3 &= Q \cdot R_3 \\ &= 2.5066 \times 6.2709 = 15.426 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_4 &= Q \cdot R_4 \\ &= 2.46 \times 3.8476 = 9.465 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= t_i - \Delta T_i \\ &= 50 - 0.005658 = 49.99 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_2 &= t_i - \Delta T_i \\ &= 50 - (0.005658 + 0.0631) = 49.93 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_3 &= t_i - \Delta T_i \\ &= 50 - (0.005658 + 0.0631 + 15.426) = 34.55 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_4 &= t_i - \Delta T_i \\ &= 50 - (0.005658 + 0.0631 + 15.426 + 9.465) = 25.04 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BIODATA PENULIS



Fahny Ardian lahir di Sukoharjo, 16 Juni 1996 merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Islam Batik Bekonang, SD N 1 Demakan (2002-2008), SMPN 1 Mojolaban (2008-2011), SMA N 1 Sukoharjo (2011-2014). Hingga penulis menempuh pendidikan tinggi di departemen Teknik Material dan Metallurgi ITS pada tahun (2014-2018). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam beberapa organisasi yaitu Himpunan Teknik Mahasiswa Material dan Metalurgi FTI - ITS, Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan DTM sebagai asisten laboratorium. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dengan judul project “Evaluasi Hasil pada Baja Karbon Menengah dengan Menggunakan Metode Liquid Penetrant Testing dan Ultrasonic Testing”. Penulis sangat senang sekali jika ada yang ingin berdiskusi lebih lanjut terkait tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email: fahny1923@gmail.com atau nomor telepon 0857-1116-3154 sekian dan terima kasih.