



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGAMATAN PERILAKU KOROSI PIPA BAJA API 5L
GRADE B PENYALUR MINYAK MENTAH DALAM
LINGKUNGAN AIR FORMASI BERINHIBITOR**

SKRIPSI

ERLIZA ERBARYANTI

0706268442

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGAMATAN PERILAKU KOROSI PIPA BAJA API 5L
GRADE B PENYALUR MINYAK MENTAH DALAM
LINGKUNGAN AIR FORMASI BERINHIBITOR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ERLIZA ERBARYANTI

0706268442

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

JULI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Erliza Erbaryanti

NPM : 0706268442

Tanda Tangan



Tanggal : 11 JULI 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Erliza Erbaryanti
NPM : 0706268442
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : PENGAMATAN PERILAKU KOROSI PIPA BAJA
API 5L GRADE B PENYALUR MINYAK MENTAH
DALAM LINGKUNGAN AIR FORMASI
BERINHIBITOR

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Rini Riastuti, M.Sc. ()

Penguji : Dra. Sari Katili, M.S. ()

Penguji : Deni Ferdian, S.T., M.Sc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat – Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik jurusan Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penelitian dan pengujian dilakukan sebagai bentuk aplikatif ilmu yang telah diterima selama di bangku kuliah. Dengan skripsi ini, diharapkan penulis semakin siap terjun ke dunia kerja sebagai Sarjana Teknik.

Skripsi ini mengambil tema korosi pada baja dengan judul *Pengamatan Perilaku Korosi Pipa Baja API 5L Grade B dalam Lingkungan Air Formasi Berinhibitor*. Skripsi ini berisi penelitian serta pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh air formasi berinhibitor terhadap mekanisme korosi dan laju korosi baja API 5L Grade B . Pengujian dilakukan menggunakan baja API 5L Grade B dengan rentang waktu 8 hari, 11 hari, dan 14 hari.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Rini Riastuti, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini. Berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing, penulis dapat melewati kesulitan dalam penulisan dan berkat pengarahan dari pembimbing, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno, selaku Kepala Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI.
3. Ir. Ahmad Herman Yuwono, Phd, selaku Koordinator Kerja Praktik Departemen Metalurgi dan Material FTUI
4. Kedua orang tua tercinta di rumah (Bambang Sutedjo, S.P dan Erry Handayani), yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material. Juga memberikan doa dan semangat kepada penulis sehingga menjadi pemacu semangat.

5. Kakakku satu-satunya (Emirza Erbayanthi) dan adik sepupuku Nisrina Muthi M. yang selalu memberikan semangat dan hiburan untukku.
10. Sanak Saudara yang telah memberikan banyak bantuan dan dukungan sampai sekarang ini (Tante Ella, Pak De Gul Dalimunthe, Bude Dian, Pak De Hendro, Ka Ditha, dan Mereka yang kepadanya aku berhutang budi).
11. For Alpaslan, thank you for your support and everything.
12. Seluruh bapak-bapak di Corrosion Lab VICO Indonesia, terutama Bpk Paian Simbolon atas bimbingannya dan Bpk Manungku atas bantuannya yang sangat berarti untuk penulis sehingga penulis dapat melanjutkan penelitian ini.
13. Seluruh karyawan Dept. Metalurgi dan Material, terutama Bang Mamat atas bantuannya dalam preparasi sampel, Mba Yulys untuk semangatnya dan lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
14. Teman – teman seperjuangan:
 - a. Tim Skripsi: Miska Rahmaniati, terimakasih untuk dukungannya.
 - b. Hasbi Fahada, Giafin Bibsy R, Hendy S, Agung Retno, Oky Simbolon, M. Wildan P, Hesti I, Astrini Wulandari dan semua CeMet 2007 yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
 - c. Teman-teman Metalurgi dan Material 2007, sungguh 4 tahun ini menjadi tahun-tahun yang berkesan karena melewatinya bersama kalian.
 - f. Dan Teman-teman seperjuangan lainnya, yang telah mengukir kenangan indah di Fakultas Teknik. Semoga apa yang kita perjuangkan ini berbuah manis nantinya. Amin. Terima kasih banyak, teman.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 11 Juli 2011

Erliza Erbayanti

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : **Erliza Erbaryanti**
NPM : **0706268442**
Program Studi : **Teknik Metalurgi dan Material**
Departemen : **Metalurgi dan Material**
Fakultas : **Teknik**
Jenis Karya : **Skripsi**

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

PENGAMATAN PERILAKU KOROSI PIPA BAJA API 5L GRADE B PENYALUR MINYAK MENTAH DALAM LINGKUNGAN AIR FORMASI BERINHIBITOR

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

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 11 Juli 2011

Yang Menyatakan



(Erliza Erbaryanti)

ABSTRAK

Nama : Erliza Erbaryanti
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : PENGAMATAN PERILAKU KOROSI PIPA BAJA API
5L GRADE B PENYALUR MINYAK MENTAH DALAM
LINGKUNGAN AIR FORMASI BERINHIBITOR

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh air formasi berinhibitor terhadap perilaku korosi dan laju korosi baja API 5L Grade B. Metode yang digunakan yaitu *Weight loss* dan Polarisasi Potensiodinamik. Uji celup dilakukan dengan variasi waktu 8, 11, dan 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi baja API 5L dalam larutan air formasi berinhibitor mengalami pemasifan dan laju korosi semakin menurun seiring pertambahan waktu. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa produk korosi yang dihasilkan adalah Fe_3O_4 .

Kata kunci : baja API 5L Grade B, korosi, Fe_3O_4 , *Weight loss*, Polarisasi Potensiodinamik, air formasi, XRD

ABSTRACT

Name : Erliza Erbaryanti
Study Program : Teknik Metalurgi dan Material
Title : AN OBSERVATION OF CORROSION BEHAVIOUR API
5L GRADE B STEEL AS CRUDE OIL TRANSPORTER IN
FORMATION WATER WITH PRESENCE OF INHIBITOR

A research has been conducted to know the influences formation water with presence of inhibitor to the corrosion behaviour and corrosion rate API 5L Grade B steel. Weight loss and Potentiodynamic Polarization methodology has been carried out. An immersion test with various time 8,11, and 14 days has been done. This research has show that passivity happened and the corrosion rate has decreased as the increased of time. The corrosion product of Fe_3O_4 has been known as the result of XRD test.

Key Word : API 5L Grade B, corrosion, Fe_3O_4 , Potentiodynamic Polarization, Weight Loss, Formation water, XRD

DAFTAR ISI

JUDUL TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5. Sistematika Penelitian	4
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1. Korosi	5
2.1.1 Definisi Korosi	5
2.1.2 Prinsip Dasar Korosi.....	6
2.1.3 Mekanisme Korosi.....	7
2.1.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi.....	7
2.1.5 Jenis-jenis Korosi	12
2.1.6 Korosi pada Baja	17
2.2. Korosi Baja pada Lingkungan Air.....	17
2.2.1 Komposisi Air	18
2.2.1.1 Gas yang Terlarut (<i>Dissolved Gas</i>)	18

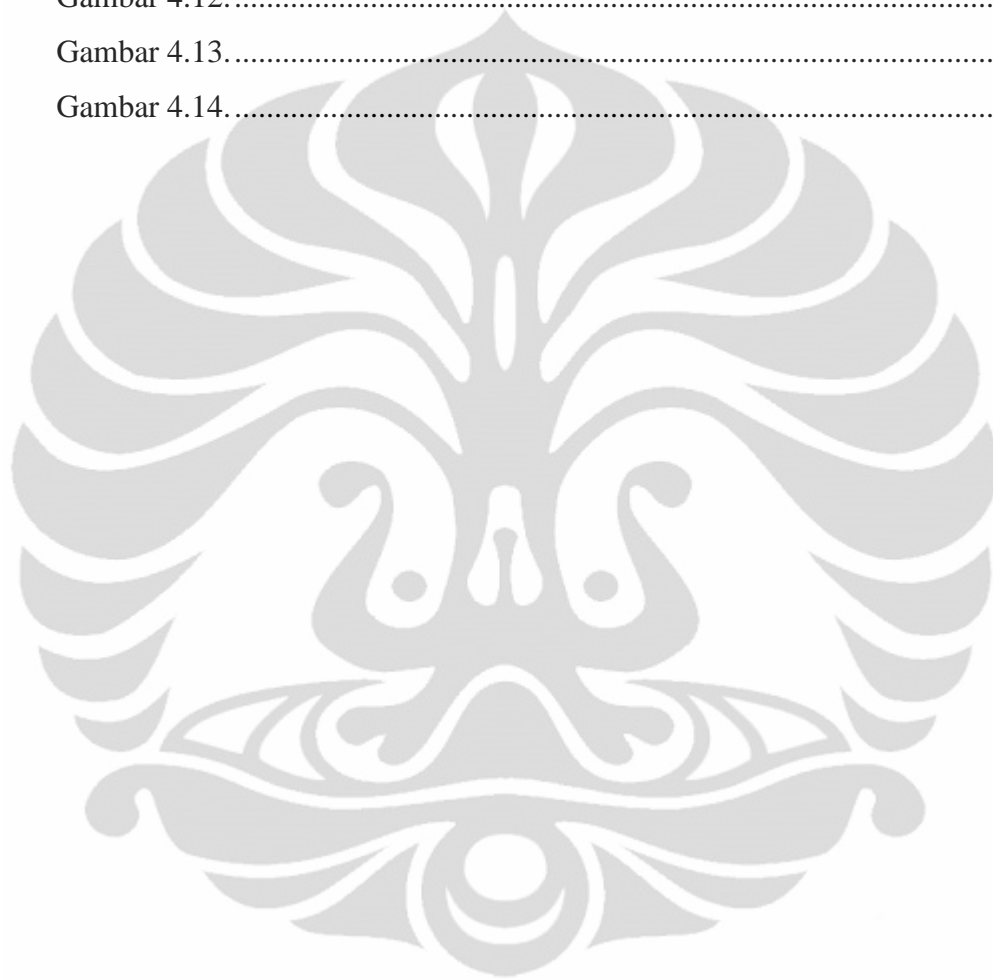
2.2.1.2	<i>Hardness</i>	19
2.2.1.3	Ion Klorida	20
2.2.2	Komposisi Baja.....	20
2.2.3	Pengaruh Inhibitor	21
2.2.4	<i>Saturation Index</i>	21
2.2.1.3	<i>Langelier Saturation Index (LSI)</i>	21
2.3	Scaling pada Pipa Unit Produksi Minyak Mentah.....	23
2.3.1	<i>Scale</i>	24
2.3.2	<i>Scale Inhibitor</i>	25
2.4	Pipa Penyalur Minyak mentah.....	26
2.4.1	Sistem Kerja	26
2.4.2	Pipa Spesifikasi API	26
2.4.3	Ketahanan Korosi Baja API 5L Grade B.....	27
2.5	Pengukuran Laju Korosi.....	27
2.5.1	Metode <i>Weight Loss</i>	28
2.5.2	Metode Polarisasi	29
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1	Diagram Alir Penelitian	32
3.2	Alat dan Bahan	32
3.2.1	Alat	33
3.2.2	Bahan	33
3.3	Prosedur Penelitian	35
3.3.1	Preparasi Sampel	35
3.3.2	Persiapan Larutan	37
3.3.3	Perendaman Sampel dalam Larutan	39
3.3.4	Pengamatan Visual	40
3.3.5	Pengamatan Struktur Makro	40
3.3.6	Penghitungan Struktur Mikro	40
3.3.7	Pengujian EDS	42
3.3.8	Pengeringan & Pengambilan Endapan pada Sampel	43

3.3.9	Pengukuran Berat Akhir	43
3.3.10	Penghitungan Laju Korosi	44
3.3.10.1	Metode <i>Weight Loss</i>	44
3.3.10.2	Metode Polarisasi Potensiodinamik.....	44
3.2.11	Pengujian XRD	46
3.4	Pengambilan Data	46
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	48
4.1.	Hasil Penelitian	48
4.1.1	Pengujian Komposisi Air	49
4.1.2	Pengujian Komposisi Sampel	49
4.1.3	Pengujian Kehilangan Berat (<i>Weight Loss</i>)	52
4.1.4	Pengujian Visual	52
4.1.4.1	Sebelum Perendaman	52
4.1.4.2	Setelah Perendaman	53
4.1.5	Pengujian Struktur Mikro	54
4.1.6	Pengujian EDS	55
4.1.7	Pengujian XRD	59
4.1.8	Pengujian Polarisasi Potensiodinamik	59
4.2.	Pembahasan	60
4.2.1	Pengamatan Visual & Pengamatan Makro	60
4.2.2	Pengaruh Struktur Mikro	61
4.2.3	Pengujian EDS	62
4.2.4	Pengujian XRD	63
4.2.5	Pengujian Kehilangan Berat (<i>Weight Loss</i>)	64
4.2.6	Pengujian Polarisasi Potensiodinamik	66
BAB V	PENUTUP	69
5.1.	Kesimpulan	69
DAFTAR ACUAN	70
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	6
Gambar 2.2.	6
Gambar 2.3.	10
Gambar 2.4.	11
Gambar 2.5.	12
Gambar 2.6.	13
Gambar 2.7.	13
Gambar 2.8.	14
Gambar 2.9.	15
Gambar 2.10.	16
Gambar 2.11.	23
Gambar 2.12.	29
Gambar 3.1.	31
Gambar 3.2.	33
Gambar 3.3.	35
Gambar 3.4.	36
Gambar 3.5.	37
Gambar 3.6.	37
Gambar 3.7.	39
Gambar 3.8.	41
Gambar 3.9.	43
Gambar 3.10.	43
Gambar 3.11.	45
Gambar 3.12.	46
Gambar 4.1.	51
Gambar 4.2.	51
Gambar 4.3.	52
Gambar 4.4.	52
Gambar 4.5.	53
Gambar 4.6.	54

Gambar 4.7.	55
Gambar 4.8.	56
Gambar 4.9.	57
Gambar 4.10	58
Gambar 4.11.	59
Gambar 4.12.	64
Gambar 4.13.	65
Gambar 4.14.	68



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	22
Tabel 2.2.	28
Tabel 3.1.	33
Tabel 3.2.	34
Tabel 4.1.	49
Tabel 4.2.	50
Tabel 4.3.	50
Tabel 4.4.	53
Tabel 4.5.	58
Tabel 4.6.	60
Tabel 4.7.	61
Tabel 4.8.	67

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.	Hasil Uji Komposisi Air.....	72
LAMPIRAN 2.	Hasil Uji Komposisi Sampel (OES).....	73
LAMPIRAN 3.	Hasil Uji XRD.....	74



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Penurunan mutu logam tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia karena dalam rangkaian proses tersebut terjadi perpindahan elektron. Dalam banyak hal korosi menyebabkan penurunan daya guna suatu komponen atau peralatan yang dibuat dari logam. Korosi merupakan proses alamiah yang menimbulkan degradasi pada material, komponen-komponen ataupun infrastruktur sehingga besarnya kerugian yang ditimbulkan proses korosi ini cukup besar yakni rata-rata sekitar 3-5 % GDP (*Gross Domestic Product*) dari suatu negara ^[1]. Korosi tersebut akan menghambat proses produksi dan menyebabkan kerusakan yang tidak sedikit terhadap peralatan baik yang berupa pipa maupun peralatan yang terbuat dari pelat.

Baja adalah salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik, penggunaan ini mencapai sekitar 85% dari produksi baja di seluruh dunia per tahunnya. Penggunaan baja dapat disesuaikan dengan kebutuhan karena banyak sekali macamnya dengan sifat dan karakter yang beragam. Baja dipergunakan di berbagai bidang, antara lain untuk aplikasi laut, konstruksi dan peralatan pengolahan logam, tenaga nuklir dan pembangkit listrik bahan bakar fosil, pertambangan, transportasi pengolahan kimia, produksi minyak bumi dan pengilangan pipa.

Logam baja banyak digunakan pada konstruksi unit proses produksi minyak mentah. Baja karbon yang digunakan untuk penyalur minyak mentah ada berbagai macam, salah satunya adalah baja API 5L. Baja ini dibuat berdasarkan standar *American Petroleum Institute* (API). Standar tersebut tidak memiliki spesifikasi komposisi serta mikrostruktur. Standar tersebut hanya dibuat berdasarkan spesifikasi kekuatan mekanis. Baja API 5L populer digunakan sebagai pipa penyalur minyak mentah karena memiliki sifat mekanis yang baik dan relatif ekonomis jika dibandingkan dengan baja paduan.

Pada proses produksi minyak mentah, fluida yang mengalir di dalam pipa terdiri dari beberapa macam kandungan, salah satu diantaranya adalah fasa hidrokarbon. Jenis fluida ini merupakan komposisi minyak dan gas seperti metana dan etana. Beberapa mengandung asam organik, seperti asam asetat, yang meningkatkan laju korosi dalam sistem yang mengandung CO₂. Jenis fluida lainnya yaitu *produced water*, yaitu air tanah yang ikut terangkut bersama minyak dan gas. *Produced water* dapat berupa air formasi dan air injeksi [2]. Air formasi dapat menyebabkan *scaling* karena adanya garam terlarut seperti kalsium karbonat, barium sulfat, natrium sulfat dan natrium klorida. Air injeksi dapat menyebabkan terobosan air dan pengasaman, yang juga dapat menyebabkan *scaling* karena pencampuran kimia air dan produksi hidrogen dan sulfida.

Kotoran-kotoran yang ada dalam air dapat menyebabkan masalah korosi, kerak atau *biofilm* pada unit proses. Efek air dalam unit proses dapat mengakibatkan penyumbatan pipa saluran karena terbentuknya kerak, produk korosi atau *biofilm* sehingga menurunkan efisiensi laju alir dan dapat menyebabkan kebocoran karena serangan korosi.

Untuk mencegah masalah tersebut, maka Perusahaan X menambahkan inhibitor dalam unit prosesnya. Inhibitor yang digunakan merupakan inhibitor *scale* untuk mencegah pembentukan kerak dalam pipa. Adanya inhibitor tersebut berpengaruh terhadap lingkungan korosif pipa. Karena itu, pengetahuan tentang perilaku korosi dan seberapa besar tingkat laju korosi dari pipa terhadap air formasi yang mengandung inhibitor sangat penting dipahami untuk menerapkan sistem pengelolaan tepat didalam menjaga integritas pipa tersebut.

Air formasi berasal dari air *Produced Water* Perusahaan X yang telah ditambahkan inhibitor *scale* dengan rekomendasi konsentrasi dari laboratorium perusahaan. Tetapi, data laboratorium yang nyata mengenai kondisi baja karbon tersebut dengan inhibitor *scale* yang diaplikasikan belum diketahui. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan laju korosi dan mengetahui perilaku korosi pada baja yang direndam dalam media air formasi yang mengandung inhibitor *scale* akibat kontak dengan lingkungan air berinhibitor tersebut.

1.2. Perumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh unsur korosif fluida dalam pipa terhadap laju korosi baja karbon API 5L Grade B.
2. Bagaimanakah pengaruh waktu terhadap laju korosi baja API 5L Grade B dalam lingkungan air formasi berinhibitor tersebut..
3. Bagaimana perilaku korosi yang terjadi pada baja karbon API 5L Grade B akibat lingkungannya tersebut.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk

1. Mengetahui perilaku korosi pada baja API 5L Grade B dalam fluida air formasi mengandung inhibitor *scale*.
2. Mengetahui laju korosi baja API 5L Grade B dalam lingkungannya tersebut.
3. Mengetahui pengaruh waktu terhadap laju korosi baja API 5L Grade B dalam fluida air formasi berinhibitor tersebut.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Pengambilan data lapangan berupa data material dan sampel fluida dilakukan di Lapangan, Perusahaan X. Data penelitian selanjutnya diperoleh dari pengujian dan percobaan di Laboratorium Departemen Metalurgi dan Material FTUI (OES, EDS) dan Laboratorium Uji instansi lainnya (XRD dan FTIR). Percobaan laboratorium menggunakan sampel fluida dari lapangan yaitu air formasi yang mengandung inhibitor sedangkan material API 5L Grade B diperoleh dari laboratorium. Adapun batasan dari penelitian ini adalah :

1. Material yang jadi objek utama penelitian adalah baja karbon API 5L Grade B.
2. Material yang digunakan dianggap memiliki komposisi yang homogen fasanya.

3. Media celup yang digunakan pada uji celup/ *immersion test* adalah fluida air formasi yang diperoleh dari lapangan dan telah mengandung inhibitor (jenis, konsentrasi, dan komposisi kimia inhibitor tidak diketahui).
4. Metode pengujian celup / *immersion test* berdasarkan ASTM G 31 – 72
5. Variabel waktu perendaman untuk pengujian dilakukan selama 8,11 dan 14 hari
6. Metode pengukuran laju korosi yang digunakan yaitu menggunakan dua metode, metode *Weight Loss* (ASTM G 31-72) dan metode polarisasi (ASTM G 102).

1.5. Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini, sistematika penulisan disusun agar konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu dengan yang lain, diantaranya ialah:

Bab I Pendahuluan

Membahas mengenai latar belakang penulisan, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Teori Penunjang

Membahas mengenai teori korosi secara umum baik pengertian dan jenis-jenis korosi, p, korosi pada baja, korosi pada lingkungan air, kinetika korosi, dan perhitungan laju korosi menggunakan metode polarisasi.

Bab III Metodologi Penelitian

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian, dan prosedur penelitian.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Membahas mengenai data yang didapat dari penelitian, serta menganalisa hasil penelitian baik berupa angka, gambar, dan grafik dan membandingkannya dengan teori.

Bab V Penutup

Membahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Korosi

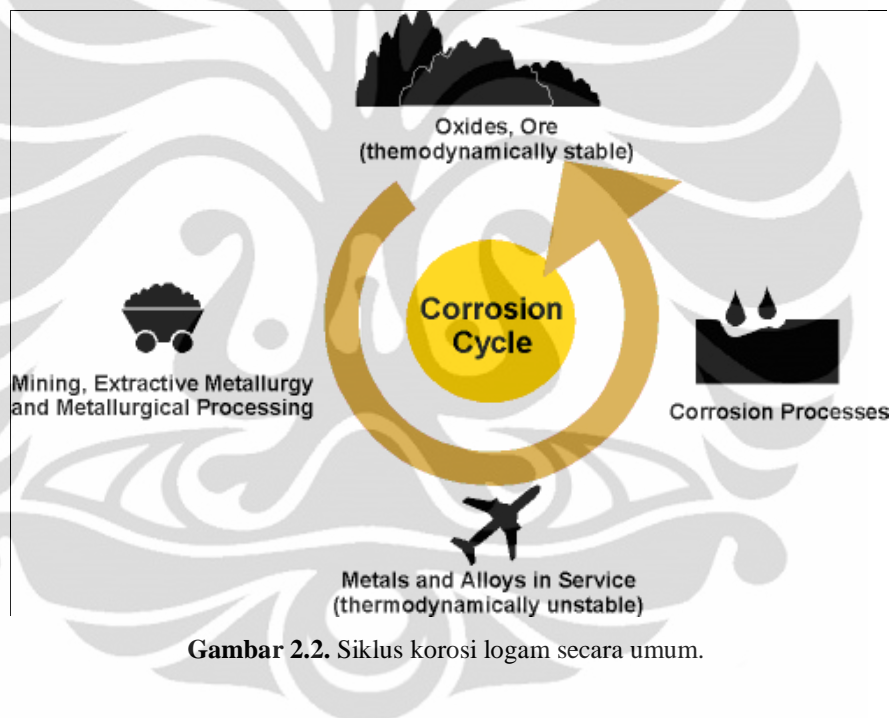
2.1.1 Definisi Korosi

Korosi didefinisikan sebagai kerusakan atau degradasi material yang disebabkan oleh reaksi antara material dengan lingkungannya. Suatu material yang terkorosi akan memiliki sifat dan kualitas yang lebih rendah dari material yang tidak mengalami korosi. Bila korosi terjadi terus menerus pada suatu material, maka material tersebut akan berubah seluruhnya menjadi produk korosi. Dari definisi korosi di atas, ada dua komponen utama dalam korosi yaitu material dan lingkungan. Material dapat berupa logam maupun non-logam seperti keramik, karet, plastik, dan material non-logam lainnya. Lingkungan dapat berupa kelembaban udara, asam atau basa, gas, temperatur, dan lain-lain. Korosi dapat berlangsung secara cepat atau lambat bergantung pada tingkat keaktifan reaksi material tersebut dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi dapat berupa reaksi kimia, elektrokimia, atau secara mekanik.

Korosi paling banyak terjadi dan menimbulkan masalah yang sangat rumit adalah korosi pada logam. Logam yang terkorosi akan teroksidasi membentuk senyawa lain yang merupakan produk korosi. Dalam bidang metalurgi, peristiwa korosi dapat dipandang sebagai suatu reaksi senyawa untuk kembali ke bentuk asalnya atau disebut dengan proses kebalikan dari ekstraksi metalurgi, misalnya logam *ferrous* yang terkorosi akan menghasilkan karat sebagai produk korosi yang merupakan senyawa $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.



Gambar 2.1. Pipa yang mengalami korosi.



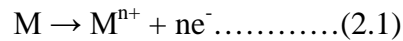
Gambar 2.2. Siklus korosi logam secara umum.

2.1.2 Prinsip Dasar Korosi

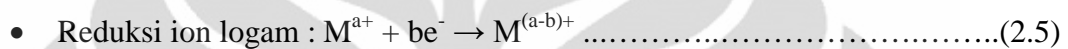
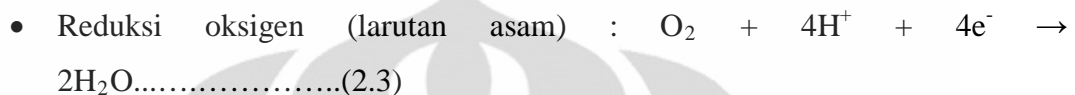
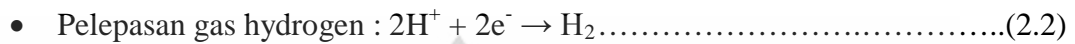
Pada korosi logam, reaksi yang paling banyak terjadi adalah reaksi elektrokimia dimana terdapat anoda, katoda, dan elektrolit sebagai tiga komponen utama dalam reaksi elektrokimia. Antara anoda dan katoda terjadi suatu kontak satu sama lain atau terhubung secara elektrokimia. Katoda mengalami reaksi reduksi sedangkan anoda mengalami oksidasi dan terkorosi. Proses oksidasi merupakan suatu proses pelepasan sejumlah elektron sehingga terjadi suatu peningkatan bilangan oksidasi. Reaksi reduksi merupakan suatu proses penangkapan elektron dan terjadi penurunan bilangan oksidasi. Logam yang

mengalami oksidasi inilah yang akan terkorosi dan berubah menjadi senyawa lain dengan bilangan oksidasi yang lebih besar^[3].

Secara umum, reaksi anodik dapat dituliskan menjadi :



Reaksi katodik yang mungkin terjadi selama proses korosi logam adalah :



Salah satu prinsip dasar korosi yang paling penting adalah selama korosi logam, laju oksidasi sama dengan laju reduksi (dalam hal pelepasan dan penangkapan elektron)^[3].

2.1.3 Mekanisme Korosi

Dalam proses korosi terjadi transfer elektron. Logam bertindak sebagai sel yang memberikan elektron atau biasa disebut anoda sedangkan lingkungan sebagai penerima elektron yang disebut katoda.

Ada empat komponen penting dalam proses korosi, yaitu :

1. Anoda

Pada anoda terjadi reaksi oksidasi. Korosi pada anoda biasanya terjadi dengan pembentukan ion-ion logam dan pelepasan elektron-elektron dari atom logam netral. Ion-ion ini tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut (*Scale*). Pasivasi terjadi ketika lapisan film tipis dan protektif terbentuk di permukaan logam yang dikespos pada lingkungan korosif. Lapisan pasif berfungsi sebagai lapisan pelindung yang dapat menghambat reaksi korosi dengan memperlambat kelarutan ion-ion logam dalam elektrolit

2. Katoda

Katoda biasanya tidak mengalami korosi atau mengalami laju korosi yang sangat rendah. Reaksi yang terjadi dalam katoda adalah reaksi reduksi. Elektron yang dilepaskan oleh anoda ditangkap oleh katoda.

3. Elektrolit

Elektrolit merupakan media yang dapat menghantarkan arus listrik dengan nilai tahanan listriknya (*electrical resistivity*) yang dipengaruhi oleh lingkungan. Pengaruh lingkungan terhadap sifat-sifat elektrolit akan mempengaruhi laju korosi.

4. Hubungan listrik

Antara anoda dan katoda harus terdapat kontak agar terjadi aliran elektron dalam sel korosi. Apabila salah satu dari keempat komponen di atas dihilangkan, maka reaksi korosi tidak dapat terjadi atau terhenti.

Mekanisme korosi dibagi ke dalam empat tahap, yaitu :

- Larutnya logam pada anoda
- Transfer elektron dari logam (anoda) ke penerima elektron (katoda)
- Terjadinya arus ion dalam larutan
- Terjadinya arus elektron dalam logam

Laju korosi yang terjadi dalam suatu lingkungan tertentu sangat ditentukan oleh mekanisme korosi. Kecenderungan logam untuk melepaskan elektron pada saat terjadinya elektrokimia dalam proses korosi menunjukkan kereaktifan logam yang bersangkutan.

Selisih potensial berhubungan dengan kereaktifan logam terhadap korosi. Selisih potensial yang lebih besar mempunyai kemungkinan terjadinya korosi yang lebih besar. Selisih potensial ini dapat ditimbulkan oleh hal-hal berikut :

- Adanya beda fasa
- Perbedaan temperatur dan tegangan
- Perbedaan besar butir
- Pengaruh perbedaan konsentrasi
- Lokasi antara batas dan bagian tengah butir
- Adanya perbedaan aerasi

2.1.4 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi suatu logam dapat terkorosi dan kecepatan laju korosi suatu logam. Suatu logam yang sama belum tentu mengalami kasus korosi yang sama pula pada lingkungan yang berbeda. Begitu juga dua logam pada kondisi lingkungan yang sama tetapi jenis materialnya berbeda, belum tentu mengalami korosi yang sama. Dari hal tersebut, maka dapat dikatakan bahwa terdapat dua faktor yang dapat mempengaruhi korosi suatu logam, yaitu faktor metalurgi dan faktor lingkungan.

1. Faktor Metalurgi

Faktor metalurgi adalah pada material itu sendiri. Apakah suatu logam dapat tahan terhadap korosi, berapa kecepatan korosi yang dapat terjadi pada suatu kondisi, jenis korosi apa yang paling mudah terjadi, dan lingkungan apa yang dapat menyebabkan terkorosi, ditentukan dari faktor metalurgi tersebut.

Yang termasuk dalam faktor metalurgi antara lain :

a. Jenis logam dan paduannya

Pada lingkungan tertentu, suatu logam dapat tahan terhadap korosi. Sebagai contoh, aluminium dapat membentuk lapisan pasif pada lingkungan tanah dan air biasa, sedangkan Fe, Zn, dan beberapa logam lainnya dapat dengan mudah terkorosi.

b. Morfologi dan homogenitas

Bila suatu paduan memiliki elemen paduan yang tidak homogen, maka paduan tersebut akan memiliki karakteristik ketahanan korosi yang berbeda-beda pada tiap daerahnya.

c. Perlakuan panas

Logam yang di-*heat treatment* akan mengalami perubahan struktur kristal atau perubahan fasa. Sebagai contoh perlakuan panas pada temperatur 500-800°C terhadap baja tahan karat akan menyebabkan terbentuknya endapan krom karbida pada batas butir. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya korosi intergranular pada baja tersebut. Selain itu, beberapa proses *heat treatment* menghasilkan tegangan sisa. Bila tegangan sisa tersebut tidak dihilangkan, maka dapat memicu terjadinya korosi retak tegang.

d. Sifat mampu fabrikasi dan pemesinan

Merupakan suatu kemampuan material untuk menghasilkan sifat yang baik setelah proses fabrikasi dan pemesinan. Bila suatu logam setelah fabrikasi memiliki tegangan sisa atau endapan inklusi maka memudahkan terjadinya retak.

2. Faktor Lingkungan

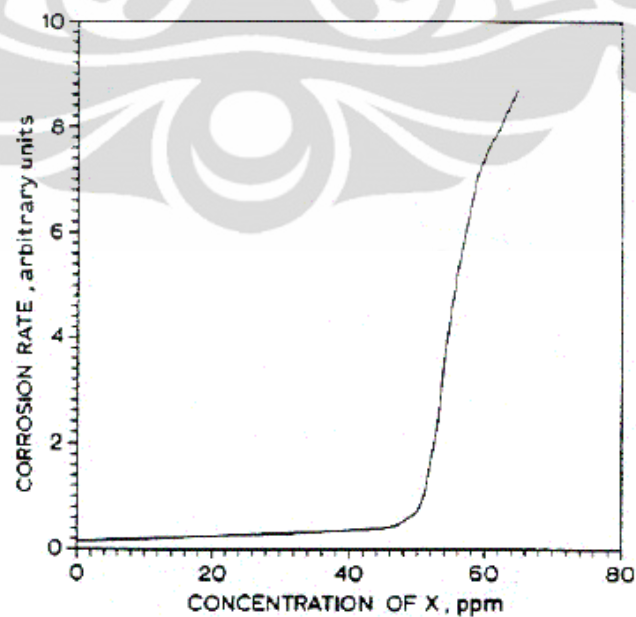
Faktor-faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi korosi antara lain:

a. Komposisi kimia

Ion-ion tertentu yang terlarut di dalam lingkungan dapat mengakibatkan jenis korosi yang berbeda-beda. Misalkan antara air laut dan air tanah memiliki sifat korosif yang berbeda dimana air laut mengandung ion klor yang sangat reaktif mengakibatkan korosi.

b. Konsentrasi

Konsentrasi dari elektrolit atau kandungan oksigen akan mempengaruhi kecepatan korosi yang terjadi. Pengaruh konsentrasi elektrolit terlihat pada laju korosi yang berbeda dari besi yang tercelup dalam H₂SO₄ encer atau pekat, dimana pada larutan encer, Fe akan mudah larut dibandingkan dalam H₂SO₄ pekat. Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi dapat dilihat pada gambar 2.3.



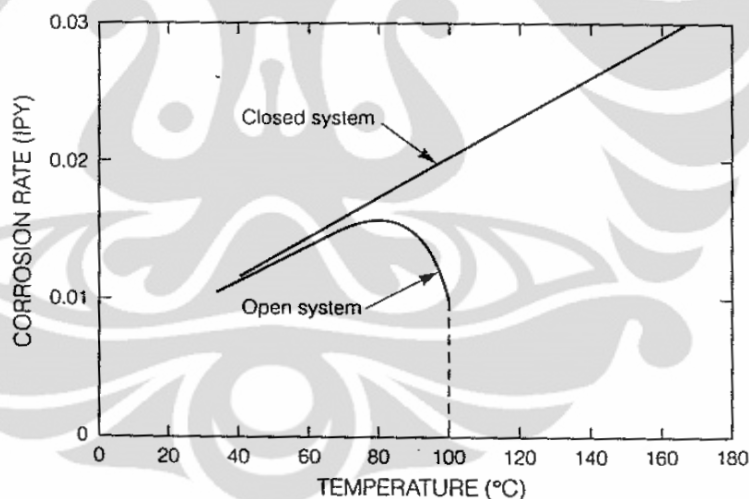
Gambar 2.3 Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi^[4]

Suatu logam yang berada pada lingkungan dengan kandungan O_2 yang berbeda akan terbagi menjadi dua bagian yaitu katodik dan anodik. Daerah anodik terbentuk pada media dengan konsentrasi O_2 yang rendah dan katodik terbentuk pada media dengan konsentrasi O_2 yang tinggi.

c. Temperatur

Pada lingkungan temperatur tinggi, laju korosi yang terjadi lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur rendah, karena pada temperatur tinggi kinetika reaksi kimia akan meningkat.

Gambar 2.4 menunjukkan pengaruh temperatur terhadap laju korosi pada Fe. Semakin tinggi temperatur, maka laju korosi akan semakin meningkat, namun menurunkan kelarutan oksigen. Sehingga pada suatu sistem terbuka, diatas suhu $80^{\circ}C$, laju korosi akan mengalami penurunan karena oksigen akan keluar sedangkan pada suatu sistem tertutup, laju korosi akan terus meningkat karena adanya oksigen yang terlarut.



Gambar 2.4 Pengaruh temperatur terhadap laju korosi Fe di lingkungan air yang mengandung oksigen^[4].

d. Gas, cair atau padat

Kandungan kimia di medium cair, gas atau padat berbeda-beda. Misalkan pada gas, bila lingkungan mengandung gas asam, maka korosi akan mudah terjadi (contohnya pada pabrik pupuk). Kecepatan dan penanganan korosi ketiga medium tersebut juga dapat berbeda-beda. Untuk

korosi di udara, proteksi katodik tidak dapat dilakukan, sedangkan pada medium cair dan padat memungkinkan untuk dilakukan proteksi katodik.

e. **Kondisi biologi**

Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur dapat menyebabkan terjadinya korosi mikrobial terutama sekali pada material yang terletak di tanah. Keberadaan mikroorganisme sangat mempengaruhi konsentrasi oksigen yang mempengaruhi kecepatan korosi pada suatu material.

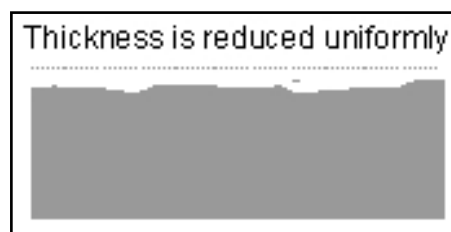
Faktor-faktor metalurgi dan lingkungan harus dievaluasi secara integral. Dalam suatu industri, sering diterapkan beberapa jenis logam dalam suatu kondisi lingkungan, atau sebaliknya satu jenis logam berada dalam beberapa jenis kondisi lingkungan. Kondisi yang paling rumit adalah beberapa jenis logam berada pada beberapa jenis lingkungan.

2.1.5 Jenis-jenis Korosi

Ada sembilan jenis korosi yang sering terjadi pada logam. Beberapa dari sembilan jenis korosi tersebut memiliki keunikan tersendiri, tetapi kesemuanya memiliki hubungan. Jenis-jenis korosi tersebut antara lain:

1. **Korosi Merata (Uniform Corrosion)**

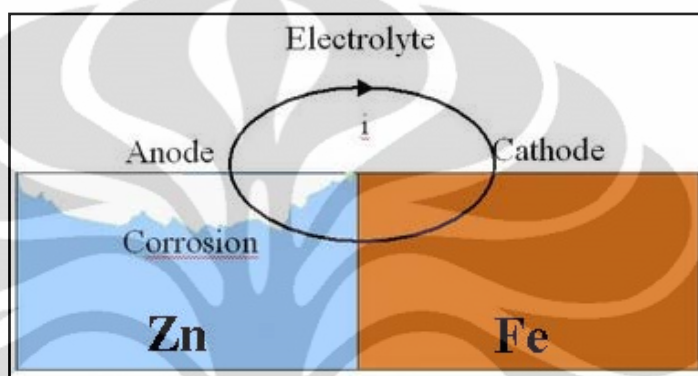
Korosi terjadi secara merata di seluruh permukaan logam. Ketebalan permukaan logam berkurang seiring dengan laju korosi. Korosi ini mudah sekali dilihat dengan mata dan mudah juga menentukan umur suatu logam yang mengalami korosi merata. Biasanya terjadi pada material yang permukaannya mengalami kontak langsung dengan lingkungan korosif. Dan berikut ini adalah ilustrasi permukaan logam yang mengalami korosi merata.



Gambar 2.5 Bentuk korosi merata.

2. **Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)**

Korosi ini terjadi karena ada perbedaan potensial dua jenis logam yang terhubung dalam lingkungan korosif. Logam yang memiliki potensial yang lebih rendah akan menjadi anoda dan terkorosi lebih cepat dari biasanya. Sedangkan logam yang memiliki potensial yang lebih positif akan berperan sebagai katoda dan mengalami korosi lebih lambat sehingga terproteksi. Gambar 5 adalah contoh korosi galvanik adalah bila Fe dan Zn saling kontak dengan lingkungan yang korosif.

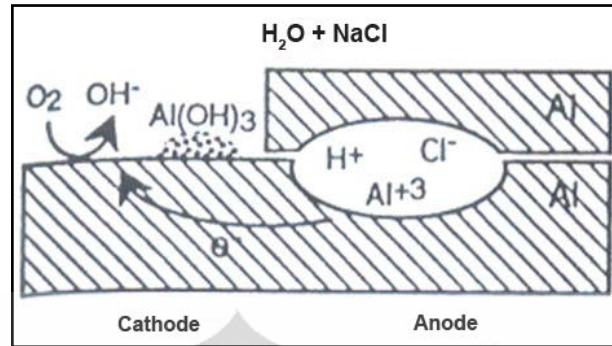


Gambar 2.6 Bentuk korosi *galvanic*.

Ada jenis korosi yang termasuk ke dalam korosi galvanik. Namun, perbedaan potensial yang terjadi bukan diakibatkan oleh perbedaan jenis material. Jenis-jenis korosi tersebut antara lain:

3. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)

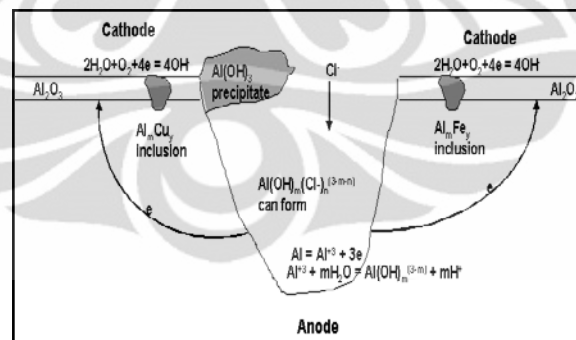
Korosi ini termasuk jenis korosi setempat yang terjadi diantara celah-celah atau daerah yang tersembunyi pada permukaan logam. Pada dasarnya, korosi ini terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi oksigen antara daerah-daerah yang berbeda. Adanya kandungan oksigen akan memungkinkan reaksi katodik berupa reduksi oksigen. Pada suatu celah, bagian yang berhubungan dengan udara akan mempunyai konsentrasi oksigen lebih tinggi dan bersifat katodik. Bagian yang sebelah dalam dengan konsentrasi oksigen yang rendah bersifat anodik dan akan terkorosi lebih cepat.



Gambar 2.7 Bentuk korosi celah

4. Korosi Sumur (*Pitting Corrosion*)

Korosi bentuk sumur terjadi karena suatu serangan yang intensif pada suatu tempat. Korosi ini berbentuk lubang atau sumuran dari permukaan sampai ke dalam permukaan logam. Korosi tipe ini biasanya terjadi pada lingkungan tertentu, misalnya air yang mengandung klorida. Korosi ini paling mudah terjadi pada air laut, karena kandungan kloridanya yang tinggi. Ion klor dapat memecahkan lapisan pasif pada satu tempat yang kemudian terjadi korosi pada tempat tersebut yang berbentuk sumuran. Korosi jenis ini terkadang tidak diketahui secara tepat karena tidak mudah dilihat dengan mata langsung.



Gambar 2.8 Bentuk korosi sumuran.

5. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)

Serangan korosi setempat pada daerah batas butir dengan korosi yang relative lebih sedikit pada butirm disebut dengan korosi batas butir. Serangan korosi terjadi secara lokal di sepanjang batas butir pada logam dan paduannya.

Korosi ini dapat disebabkan oleh impuriti pada batas butir, kelebihan atau kekurangan suatu elemen paduan pada batas butir.

Korosi batas butir umumnya terjadi pada *stainless steel*. Baja tahan karat austenitic yang mengalami pemanasan pada temperatur 425-850°C akan mengalami sensitasi, yaitu terjadinya pengendapan krom karbida (Cr_3C_6) pada batas butir. Matriks di dekat batas butir akan kekurangan krom dan menjadi seperti baja karbon biasa yang memiliki ketahanan korosi yang rendah. Daerah ini bersifat lebih anodik dan akan terkorosi dengan mudah pada lingkungan yang korosif. Korosi ini dapat dihindari dengan mengurangi kadar karbon sampai batas maksimum 0,03% dan menambahkan unsure penstabil seperti Co, Ti, Ta yang akan mengikat karbon, atau memanaskan logam kembali sampai 1100-1150°C sehingga karbida-karbida akan larut, kemudian didinginkan dengan cepat sampai temperatur 425°C untuk menghindari terbentuknya endapan kromium karbida.

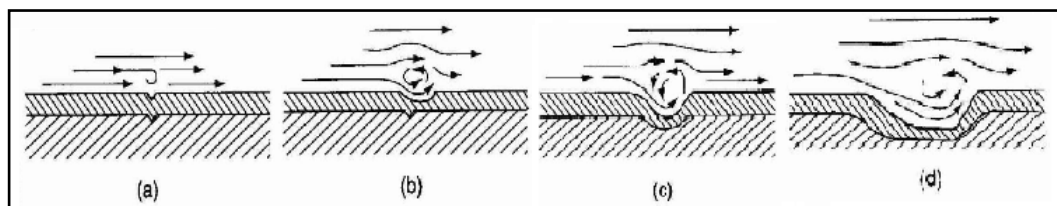
Korosi jenis ini biasa terjadi akibat proses pengelasan dan jarang ditemukan pada lingkungan air laut kecuali logam telah mengalami sensitasi sebelum digunakan.

6. Korosi Selektif (*Selective Leaching*)

Korosi selektif adalah lepasnya satu atau lebih elemen yang reaktif dari paduan logam melalui proses korosi. Korosi selektif terjadi pada logam yang mempunyai fasa lebih dari satu. Contoh yang paling umum adalah pelepasan secara selektif seng dalam paduan kuningan (*dezincification*). Bila logam tersebut berada pada lingkungan larutan elektrolit, maka akan terbentuk sel-sel galvanis dimana tembaga alpha akan bertindak sebagai katoda, sedangkan seng betha bersifat sebagai anoda yang akan terkorosi.

7. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)

Korosi erosi diakibatkan oleh percepatan atau peningkatan kecepatan serangan pada logam karena adanya pergerakan antara fluida yang bersifat korosif dengan permukaan logam. Bila pergerakan fluida cepat, maka keausan mekanis atau abrasi yang terjadi menjadi meningkat. Logam terlepas dari permukaan sebagai ion terlarut, atau membentuk padatan sebagai produk korosi yang secara mekanik terkikis dari permukaan logam oleh aliran fluida.



Gambar 2.9 Skema terjadinya korosi erosi.

Pada gambar 2.9 terlihat bahwa aliran fluida menyebabkan permukaan material menjadi terkikis sehingga menimbulkan suatu celah pada permukaan logam. Dengan adanya celah tersebut serta kandungan zat padat yang terdapat dalam fluida menyebabkan terjadinya turbulensi. Turbulensi ini menyebabkan celah pada permukaan logam semakin membesar. Seiring dengan bertambah besar ukuran celah, maka turbulensi akan meningkat yang kemudian akan memberikan dampak semakin besarnya celah pada permukaan logam.

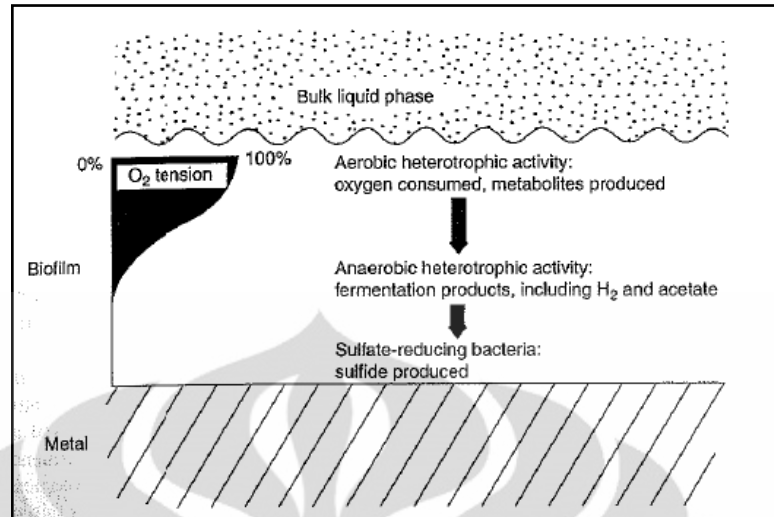
8. **Korosi Retak Tegang (*Stress Corrosion Cracking*)**

Korosi retak tegang merupakan retak yang diakibatkan oleh adanya tegangan tarik dan medium korosif tertentu secara simultan. Tegangan ini dapat berupa tegangan dalam, tegangan sisa atau tegangan dari luar. Awal retakan di permukaan dapat dimulai dari korosi lubang yang kemudian berkembang. Suatu logam belum tentu mengalami korosi ini dalam lingkungan yang berbeda. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi retak tegang adalah komposisi paduan, faktor metalurgi, tegangan dan lingkungan.

Korosi retak tegang dapat dikendalikan dengan cara menurunkan tegangan yang digunakan, mengganti paduan yang digunakan, serta penggunaan proteksi katodik dan inhibitor.

9. **Korosi Mikroorganisme (*Microbially Induced Corrosion*)**

Mikroorganisme yang mempengaruhi proses korosi dibagi menjadi dua jenis yaitu bakteri aerob dan anaerob. Bakteri tersebut membentuk suatu koloni di atas permukaan logam untuk tempat hidup mereka. Koloni tersebut membentuk suatu lapisan (*biofilm*) pada permukaan material sehingga material menjadi terkorosi akibat dari aktivitas hidup mikroorganisme tersebut.



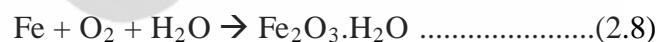
Gambar 2.10 Skema *biofilm* yang terbentuk oleh adanya bakteri aerob dan anaerob.

2.1.6 Korosi Pada Baja

Korosi pada baja timbul dari adanya ketidakstabilan termodinamika. Baja ketika diproses dari besi, yang dibuat didalam blast furnace dengan mereduksi bijih besi seperti hematite (Fe_2O_3) dengan karbon dalam bentuk kokas. Ini dapat diilustrasikan dengan persamaan kimia sederhana:



Reaksi ini terjadi pada temperatur tinggi. Produk akhir, baik besi maupun baja, tidaklah stabil karena energi yang diberikan pada proses ini sangatlah besar. Akibatnya, saat baja terekspose ke uap air, oksigen, atau air, maka baja ini cenderung kembali ke bentuk awalnya, dengan persamaan kimia:



Karat ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) adalah oksida hidrat, yang serupa dengan hematit. Ini menjelaskan mengapa baja cenderung untuk berkarat pada kebanyakan situasi.

2.2 Korosi Baja pada Lingkungan Air

Pada kehidupan kita, air digunakan untuk berbagai macam tujuan sebagai pendukung kehidupan, mulai dari kehidupan sehari-hari sampai dalam industrial. Baja dan paduannya merupakan material yang paling banyak diaplikasikan untuk lingkungan air.

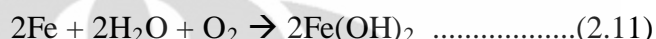
Reaksi korosi yang terjadi pada baja di lingkungan air adalah:



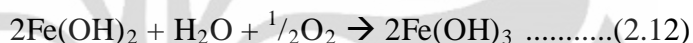
Karena air mengalami kontak dengan atmosfer sehingga mengandung oksigen yang terlarut. Air biasanya bersifat netral, sehingga reaksi katodik yang terjadi adalah reduksi oksigen.



Secara keseluruhan, reaksi yang terjadi adalah:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ atau *iron (II) hydroxide* mengendap dan tidak stabil. Dengan adanya oksigen di air, $2\text{Fe}(\text{OH})_2$ teroksidasi kembali membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ atau *hydrated iron (III) oxide*. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Ferrous hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) diubah menjadi *hydrat ferric oxide* atau biasa disebut karat, dengan oksigen:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ merupakan endapan berwarna hijau atau hijau kehitaman, sedangkan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ merupakan endapan berwarna coklat kemerahan ^[5].

Bayliss dalam bukunya menyebutkan bahwa beberapa faktor berikut mempengaruhi korosi baja dalam air yaitu Efek Komposisi Air, Efek Jenis Baja, Efek Inhibitor. ^[6]

2.2.1 Komposisi Air

Air mempunyai beberapa sifat unik, salah satunya adalah kemampuan untuk melarutkan beberapa derajat dari setiap zat yang ada di kulit bumi dan di atmosfer. Karena sifat ini, air mengandung berbagai macam padatan terlarut, gas terlarut dan pengotor lainnya, yang semuanya dapat mempengaruhi sifat korosif dari air yang kontak dengan logam ^[7]. Air yang mengandung garam dan asam lebih agresif terhadap baja karbon, sehingga komposisi air sangat penting dalam menentukan laju korosi pada baja.

2.2.1.1. Gas yang Terlarut (*Dissolve Gas*)

Oksigen dan karbon dioksida merupakan gas terlarut yang paling penting di air. Oksigen merupakan penerima elektron yang dihasilkan oleh logam untuk terjadinya reaksi korosi logam pada air, sehingga jika jumlah oksigen yang terlarut terbatas maka laju korosi terbatas. Laju oksigen mencapai permukaan logam mengontrol laju korosi. Untuk korosi logam pada air biasanya oksigen terlarut sekitar 25-45 ppm, tetapi dengan konsentrasi oksigen yang lebih tinggi dapat melambatkan laju korosi karena terjadi pasifasi pada logam oleh oksigen. Kelarutan oksigen menurun dengan peningkatan temperatur dan peningkatan tekanan^[8].

Karbon dioksida mempengaruhi tingkat keasaman air dan mempengaruhi pembentukan endapan karbonat yang bersifat protektif. Asam karbonat, terbentuk dari CO₂ terlarut, sedikit korosif, tetapi produk korosi, FeCO₃, membentuk lapisan permukaan dan bersifat protektif^[4].

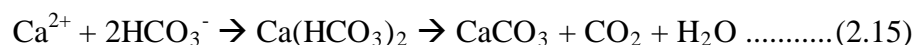
2.2.1.2 Hardness

Hardness merupakan salah satu sifat air yang menunjukkan kemampuan air untuk membentuk endapan atau *Scale* yang protektif pada permukaan. Hardness dipengaruhi oleh jumlah karbon dioksida dan adanya garam seperti kalsium karbonat dan bikarbonat^[9].

Air dengan tingkat hardness yang tinggi, disebut hard water, mengandung kation kalsium dan kation magnesium yang dapat membentuk lapisan karbonat yang protektif pada permukaan logam. Adanya karbon dioksida yang terlarut di air membentuk asam karbonat, H₂CO₃, dan menurunkan pH dengan menguraikan asam karbonat menjadi ion H⁺ dan ion bikarbonat, HCO₃⁻^[4]:



Ion bikarbonat membentuk lapisan kalsium karbonat yang tidak larut pada permukaan logam dalam larutan basa^[18].



Klasifikasi nilai hardness berdasarkan U.S Geological Survey^[5]:

- Soft water: kandungan CaCO₃ lebih rendah dari 60 ppm.

- Moderately hard water: kandungan CaCO_3 dari 60 ppm hingga 120 ppm.
- Hard water: kandungan CaCO_3 dari 120 ppm hingga 180 ppm.
- Very hard water: kandungan CaCO_3 diatas 180 ppm.

Soft water bersifat agresif untuk kebanyakan logam, karena tidak jenuh dengan CaCO_3 sehingga tidak membentuk lapisan karbonat yang protektif. *Very hard water* biasanya adalah air bawah tanah dengan pH rendah dan kandungan karbon dioksida tinggi ^[8]. Air dengan hardness menengah biasanya mengandung jumlah unsur yang cukup banyak dan cenderung membentuk endapan yang melekat longgar atau tidak kuat pada permukaan logam, sehingga memungkinkan korosi untuk terjadi dibawah endapan yang terbentuk ^[10].

Kecenderungan dari kalsium karbonat untuk mengendap dan menghasilkan ketahanan korosi pada air tanah diukur dengan Saturation Index (LSI- Langerier Saturation Index) ^[5].

Jika $\text{LSI} < 0$; air akan melarutkan CaCO_3

$\text{LSI} > 0$; akan terbentuk endapan CaCO_3

$\text{LSI} = 0$; air bersifat netral, lapisan CaCO_3 tidak terendapkan maupun larut

2.2.1.3 Ion Klorida

Ion klorida merupakan faktor penting yang mempengaruhi korosi pada lingkungan air. Ion klorida ini mencegah pembentukan lapisan oksida yang dapat menghalangi proses korosi, sehingga dapat menyebabkan terjadinya reduksi oksigen pada baja tanpa korosi. Ketika lapisan oksida diserang kemungkinan menghasilkan korosi sumuran (*pitting corrosion*).

2.2.2 Komposisi Baja

Baja karbon merupakan logam paduan yang merupakan kombinasi dari besi dan karbon dan paduan elemen lain yang jumlahnya tidak terlalu banyak untuk dapat mempengaruhi sifatnya. Komposisi baja karbon biasanya mengandung tidak lebih dari 1.0% karbon (C) serta sejumlah kecil paduan seperti mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1,65%, silikon (Si)

dengan kadar maksimal 0,6% dan tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0,6%. Baja dengan kadar karbon yang rendah memiliki sifat yang sama dengan besi, lunak dan mudah dibentuk. Meningkatnya kandungan karbon menjadikan logam lebih keras dan kuat namun keuletannya berkurang dan lebih sulit untuk di las. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,3 %, baja karbon sedang mengandung 0,3 – 0,6 % karbon, dan baja karbon tinggi mengandung 0,6 – 1,0 % karbon. ^[3]

2.2.3 Pengaruh Inhibitor

Inhibitor adalah suatu zat yang ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam sistem reaksi kimia dapat memperlambat, bahkan menghentikan reaksi kimia. Inhibitor bekerja melalui 3 mekanisme, yaitu:

- a. Mekanisme adsorpsi, dengan membentuk lapisan yang melindungi permukaan logam, sehingga akan mengurangi reaksi antara logam dengan lingkungan.
- b. Mekanisme pembentukan lapisan permukaan, dengan mengkorosi permukaan logam sehingga terbentuk logam oksida pada permukaan. Logam oksida ini adalah lapisan pasif yang akan melapisi material.
- c. Mengubah karakteristik lingkungan disekitar logam dengan mengurangi elemen penyebab korosi pada lingkungan di sekitar logam yang akan dilindungi.

2.2.4 Saturation Index

Untuk mengetahui apakah suatu media air bersifat korosif atau tidak biasanya dilihat besarnya nilai dari Langelier Saturation Index (LSI) dan Ryznar Stability Index (RSI). Dari besaran LSI dan RSI dapat diketahui apakah suatu air tersebut bersifat korosif atau balanced ^[11].

2.2.4.1 Langelier Saturation Index (LSI)

Langelier Saturation index (LSI) merupakan model kesetimbangan yang berasal dari teori konsep kepekatan dan merupakan indikator derajat kepekatan air terhadap kalsium karbonat. Kesetimbangan tersebut ditunjukkan dengan nilai LSI yang mendekati logaritma 10 pada perhitungan tingkat kepekatan *calcite*. Tingkat kepekatan pada LSI menggunakan pH sebagai variabel utama.

LSI dapat diartikan sebagai perubahan pH yang membuat kesetimbangan pada air. Air dengan nilai LSI 1.0 adalah salah satu unit pH diatas kepekatan. Pengurangan pH sebanyak 1 akan membuat air berada dalam kesetimbangan. Hal ini terjadi karena *alkalinity* total menunjukkan ketika CO_3^{2-} menurun maka pH akan menurun. Hal ini berdasarkan kesetimbangan asam karbonat :



LSI merupakan indikator yang banyak digunakan untuk melihat potensial terbentuk *Scale* pada air pendingin (cooling water). Hal tersebut merupakan indeks kesetimbangan dan sesuai dengan termodinamik untuk pembentukan dan pertumbuhan *Scale* kalsium karbonat. Tetapi, tidak ada indikasi berapa banyak *Scale* atau kalsium karbonat yang akan mengendap untuk membuat air dalam kesetimbangan.

Untuk mengetahui dan menghitung besarnya LSI perlu diketahui besaran-besaran berikut yaitu *alkalinity* (mg/l as CaCO_3), *calcium hardness* (mg/l Ca^{2+} sebagai CaCO_3), *total dissolved solids* (mg/l TDS), pH saat kondisi, dan temperatur air ($^{\circ}\text{C}$). LSI dinyatakan dengan persamaan 2.6. ^[12]

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

pH = pengukuran pH air

pH_s = pH pada keadaan *saturation* untuk *calcite* atau *calcium carbonate* yang didefinisikan oleh :

$$\text{pH}_s = (9.3 + \text{A} + \text{B}) - (\text{C} + \text{D}) \dots\dots\dots(2.19)$$

dengan

$$A = (\text{Log} [\text{TDS}] - 1) / 10$$

$$B = -13.12 \times \text{Log} (oC + 273) + 34.55$$

$$C = \text{Log} [\text{Ca}^{2+} \text{ sebagai CaCO}_3] - 0.4$$

$$D = \text{Log} [\text{alkalinity sebagai CaCO}_3]$$

Hasil perhitungan LSI menunjukkan bahwa ^[11] :

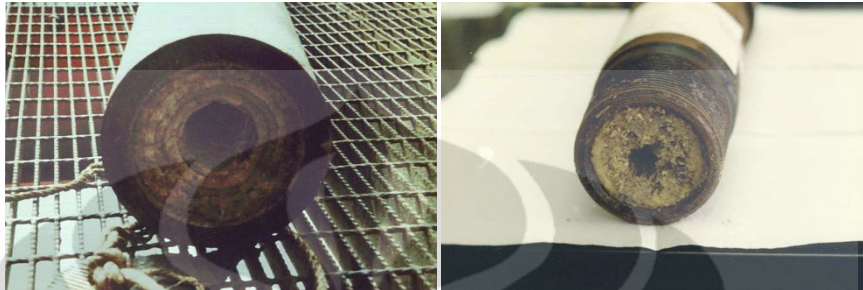
1. Jika LSI = negatif maka tidak berpotensi untuk terjadi *Scale*, dan CaCO₃ terlarut dalam air.
2. Jika LSI positif maka *Scale* dapat terbentuk dan precipitasi CaCO₃ mungkin akan terbentuk.
3. Jika LSI mendekati nilai 0 maka *Borderline Scale potential*. Kualitas air, perubahan temperatur, atau penguapan akan mengubah nilai indeks.

2.3 *Scaling* pada Pipa Unit Produksi Minyak Mentah

Minyak bumi adalah suatu senyawa hidrokarbon yang terdiri dari karbon (83-87%), hidrogen (11-14%), nitrogen (0,2-0,5%), sulfur (0-6%), dan oksigen (0-3,5%). Proses produksi minyak dari formasi tersebut mempunyai kandungan air yang sangat besar, bahkan bisa mencapai kadar lebih dari 90%. Selain air, juga terdapat komponen-komponen lain berupa pasir, garam-garam mineral, aspal, gas CO₂ dan H₂S. Komponen-komponen yang terbawa bersama minyak ini menimbulkan permasalahan tersendiri pada proses produksi minyak bumi. Air yang terdapat dalam jumlah besar sebagian dapat menimbulkan emulsi dengan minyak akibat adanya emulsifying agent dan pengadukan. Selain itu hal yang tak kalah penting ialah adanya gas CO₂ dan H₂S yang dapat menyebabkan korosi dan dapat mengakibatkan kerusakan *pada casing, tubing, sistem perpipaan* dan *surface facilities*. Sedangkan ion-ion yang larut dalam air seperti kalsium, karbonat, dan sulfat dapat membentuk kerak (*Scale*). *Scale* dapat menyebabkan pressure drop karena terjadinya penyempitan pada sistem perpipaan, tubing, dan *casing* sehingga dapat menurunkan produksi.

Kerak (*Scale*) merupakan masalah yang cukup kompleks dan selalu terjadi diladang-ladang minyak. Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan

kristal pada permukaan suatu substansi. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Terganggunya aliran fluida menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi maka kemungkinan pipa akan pecah dan rusak.



Gambar 2.11 *Scaling* pada Pipa

2.3.1 *Scale* (Kerak) ^[13]

Istilah *Scale* dipergunakan secara luas untuk deposit keras yang terbentuk pada peralatan yang kontak atau berada dalam air. Dalam operasi produksi minyak bumi sering ditemui mineral *Scale* seperti CaSO_4 , FeCO_3 , CaCO_3 , dan MgSO_4 . Senyawa-senyawa ini dapat larut dalam air. *Scale* CaCO_3 paling sering ditemui pada operasi produksi minyak bumi. Akibat dari pembentukan *Scale* pada operasi produksi minyak bumi adalah berkurangnya produktivitas sumur akibat tersumbatnya perforasi, pompa, valve, dan fitting serta aliran pada pipa.

Penyebab terbentuknya deposit *Scale* adalah terdapatnya senyawa-senyawa tersebut dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Faktor utama yang berpengaruh besar pada kelarutan senyawa-senyawa pembentuk *Scale* ini adalah kondisi fisik (tekanan, temperatur, konsentrasi ion-ion lain dan gas terlarut).

Di lapangan operasi masalah *Scale* dan kemungkinan penyebabnya dapat dilihat dari:

1. Untuk warna terang atau putih

- a. Bentuk fisik: Keras, padat, dan gambar halus

Penambahan HCL 15%: Tidak Larut

Komposisi : BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 dalam air yang terkontaminasi

- b. Bentuk fisik : Panjang, padat kristalnya seperti mutiara
 Penambahan HCL 15% : Larut tanpa ada gelembung gas, larutan menunjukkan adanya SO₄ dengan BaCl₂

Komposisi: Gypsum, CaSO₄ · 2H₂O dalam air terkontaminasi dari dalam air super saturation.

- c. Bentuk fisik : Padat, halus, kristal berbentuk

Penambahan HCL 15%. Mudah arut dan ada gelembung gas.

Komposisi : CaCO₃, campuran CaCO₃ dan MgCO₃ jika dilarutkan perlahan-lahan.

2. Untuk warna gelap dari coklat sampai dengan hitam

- a. Bentuk fisik : Padat dan coklat

Penambahan HCL 15%: Residu berwarna putih, pada pemanasan berwarna coklat

Komposisi : Sama dengan 1a dan 1b untuk residu warna putih, yang berwarna coklat adalah besi oksida yang merupakan produk korosi atau pengendapan yang disebabkan oleh oksigen

- b. Bentuk fisik :Padat berwarna putih

Penambahan HCL 15%:Logam hitam larut perlahan-lahan dengan perubahan pada H₂S, putih, residu yang tidak larut

Komposisi :Sama dengan 1a. dan 1b. diatas untuk residunya warna hitam adalah besi sulfida yang merupakan produk korosi.

2.3.2 Scale Inhibitor

Salah satu cara untuk mencegah terbentuknya kerak diladang-ladang minyak adalah dengan menginjeksikan bahan-bahan kimia pencegah kerak (*scale inhibitor*) ke dalam air formasi. Prinsip kerja dari *scale inhibitor* yaitu pembentukan senyawa kompleks (*chelate*) antara *scale inhibitor* dengan unsur-unsur pembentuk kerak. Senyawa kompleks yang terbentuk larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar. Di samping itu dapat mencegah kristal kerak untuk melekat pada permukaan pipa.

Pada umumnya *scale inhibitor* yang digunakan di ladang-ladang minyak dibagi atas dua tipe yaitu *scale inhibitor* anorganik dan *scale inhibitor*

organik. Senyawa anorganik fosfat yang umum digunakan sebagai inhibitor adalah kondensat fosfat dan dehidrat fosfat. Anorganik fosfat banyak digunakan sebagai *scale* inhibitor sebelum berkembangnya fosfonat, fosfat ester dan polimer. Pada dasarnya bahan-bahan kimia ini mengandung group P-O-P dan cenderung untuk melekat pada permukaan kristal. Ikatan oksigenfosfor ini sangat tidak stabil dalam larutan encer dan akan terhidrolisa (bereaksi dengan air) menghasilkan ortofosfat yang tidak aktif atau tidak berfungsi sebagai *scale* inhibitor. Reaksi ini biasa disebut sebagai reversi.

Scale inhibitor organik yang biasa digunakan: organo fosfonat, organo fosfat ester dan polimer-polimer organik. Organo fosfat ester efektif untuk kerak CaSO_4 , organo fosfonat efektif untuk kerak CaCO_3 dan polimer-polimer organik efektif untuk kerak CaCO_3 , CaSO_4 dan BaSO_4 .

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inhibitor adalah : keefektifan, kestabilan, kacamocokan dan biaya. Sifat dari *scale* inhibitor yang sangat diharapkan stabil dalam air pada waktu yang panjang dan temperatur yang tinggi. Organo fosfor lebih stabil dari anorganik polifosfat. Ikatan langsung antara karbon-fosfor menyebabkan organo fosfat lebih stabil melawan reversi terhadap waktu, temperatur dan pH.

2.4 Pipa Penyalur Minyak Mentah

2.4.1 Sistem Kerja

Pipa aliran minyak (flow line) menghubungkan sumur minyak dengan stasiun pengumpul (manifold), tempat terkumpulnya minyak dari berbagai sumur di sekitarnya, dan membawanya untuk kemudian dipisahkan di tempat pemisahan (separator). Gate valve dipasang di dekat kepala sumur untuk keperluan pengisolasian/penutupan sewaktu-waktu. Diusahakan rute pemasangan pipa memilih tempat yang mudah untuk melakukan pengawasan dan perbaikan, sehingga pipa aliran dari kepala sumur sampai stasiun mengikuti rute jalan umum. Untuk keselamatan dan jalan masuk, jarak dengan jalan umum lebih dari 15 meter. Selain itu pipa juga harus diletakkan di atas suatu penopang agar tidak langsung bersentuhan dengan tanah yang akan mempercepat korosi.^[14]

Penggunaan manifold berfungsi sebagai pengumpul fluida produksi dari berbagai sumur yang selanjutnya dikirim ke unit pemisahan untuk suatu treatment dan pengukuran tertentu, sehingga didapatkan hasil produksi yang diinginkan.

2.4.2 Pipa Spesifikasi API

Pipa yang digunakan di lapangan minyak dan gas adalah pipa jenis API (*American Petroleum Institute*) spesifikasi 5L. Termasuk dalam jenis pipa ini adalah jenis pipa tanpa las (*seamless pipe*) dan jenis pipa las (*welded pipe*) Jenis kelas API 5L ini adalah A25, A, B, X42, X52, X60, X70, dan X80. Dimana komposisi kimia dan sifat-sifat mekanisnya dari tiap jenis berbeda. Tujuan dari jenis spesifikasi ini adalah untuk menyediakan standar yang cocok bagi pipa untuk digunakan dalam transmisi gas, air dan minyak baik bagi perusahaan minyak maupun gas alam.

Berdasarkan kandungan karbon, baja API 5L Grade B masuk dalam kategori baja karbon medium (*medium carbon steel*)^[15]. Baja API 5L Grade B memiliki komposisi kimia sebagai berikut^[12]:

Tabel 2.1 Spesifikasi Komposisi Kimia Baja API 5L Grade B

Steel	C	Mn	P	S	Si
API 5L Gr A/B	0.21-0.27	0.90/1.15	0-0.04	0-0.05	-

2.4.3 Ketahanan Korosi Baja API 5L Grade B^[14]

Dari kandungan karbonnya, baja ini termasuk *medium carbon steels*. Ketahanan korosi baja ini tergantung pada unsur-unsur paduannya. Dilihat dari komposisi paduannya, terlihat baja ini memiliki paduan yang cukup rendah, dimana kandungan dari unsur-unsur tersebut masih dibawah 10%. Namun baja ini bukan termasuk HSLA, dikarenakan nilai UTS dan *yield strength*-nya yang jauh dibawah HSLA.

Ketahanan korosi berasal dari kandungan Ni, Cr, dan Cu. Namun dikarenakan jumlahnya yang kecil, pengaruhnya pada ketahanan korosi baja ini juga kurang nyata. Cu memang meningkatkan ketahanan terhadap korosi atmosfer (*atmosferic corrosion*), namun tidak akan dapat berbuat banyak pada peristiwa

korosi yang melibatkan air sebagai mediumnya. Keberadaan Si pada baja ini juga tidak berpengaruh pada ketahanan korosinya, dikarenakan jumlahnya yang kurang dari 15%.

2.5 Pengukuran Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu ^[3]. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan mil per year (MPY). Satu mil adalah setara dengan 0,001 inci. Laju korosi dapat ditentukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan ekstrapolasi kurva tafel. Pada tabel berikut dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya (relatif). Ada 3 metode yang digunakan untuk menyatakan laju korosi ^[21].

- a) Reduksi ketebalan material per unit waktu
- b) Kehilangan berat per unit area dan unit waktu (*Weight Loss*)
- c) Polarisation

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menghitung laju korosi adalah Polarisation dan *Weight Loss*.

2.5.1 Metode *Weight Loss*

Weight Loss merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan laju korosi. Standar pengujian *Weight Loss* menggunakan ASTM G 31 – 72. Pada standard ini dijelaskan bahwa Laju korosi dihitung berdasarkan perubahan berat yang terjadi pada material sebelum proses pencelupan dan setelah proses pencelupan. Persamaan laju korosi ditunjukkan oleh Persamaan 2.7 ^[3]

$$\text{Laju Korosi (Corrosion Rate)} = \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana :

K = konstanta

W = kehilangan berat (gram)

D = massa jenis (g/cm³)

A = luas permukaan yang direndam (cm²)

T = waktu (jam)

Dimana konstanta yang digunakan tergantung dari unit satuan yang akan digunakan, ditunjukkan pada tabel 2.2

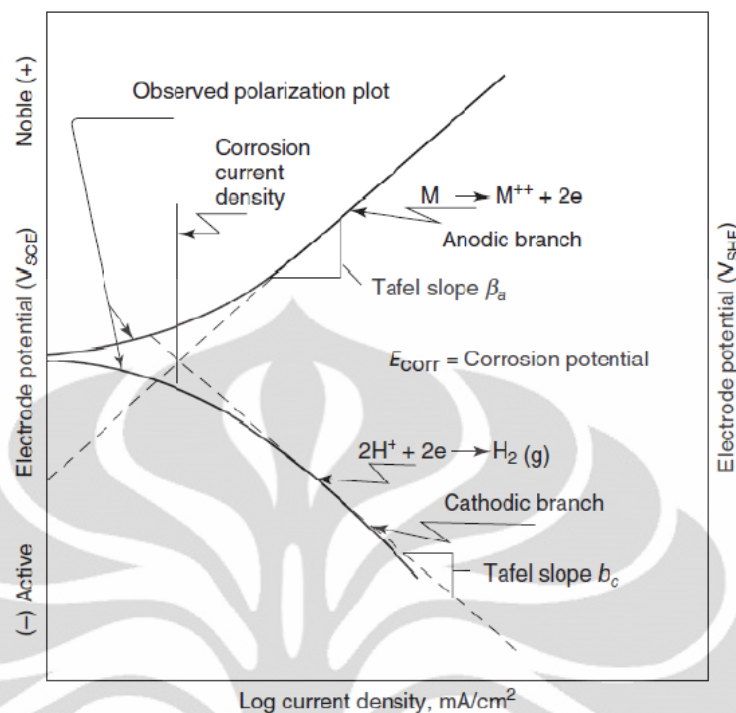
Tabel 2.2 Konstanta laju korosi

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year (ipy)	3.45×10^3
inches per month (ipm)	2.87×10^2
millimetres per year (mm/y)	8.76×10^7
micrometres per year (nm/y)	8.76×10^4
picometres per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square metre per hour ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times D^A$
milligrams per square decimetre per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^A$
micrograms per square metre per second ($\text{lg/m}^2 \cdot \text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times DA$

2.5.2 Metode Polarisasi^[9]

Mekasnisme korosi pada lingkungan fasa larutan (aqueous) adalah reaksi elektrokimia. Oleh karena itu berbagai macam pengujian eletrokimia telah banyak dikembangkan. Keuntungan dari teknik elektrokimia ini adalah kemampuannya mendeteksi laju korosi yang sangat rendah, durasi percobaan yang relative singkat, dan mudah dilakukan.

Logam dalam larutan akan mencapai potensial kesetimbangan yang tergantung pada pertukaran elektron oleh reaksi anodik dan katodik. Suatu logam tidak berada dalam kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, sehingga potensial elektroda akan berbeda dari potensial korosinya, dan selisih keduanya disebut overpotensial atau polarisasi^[3].



Gambar 2.12 Kurva Polarisasi Teoritis Sesuai ASTM G-3 ^[5]

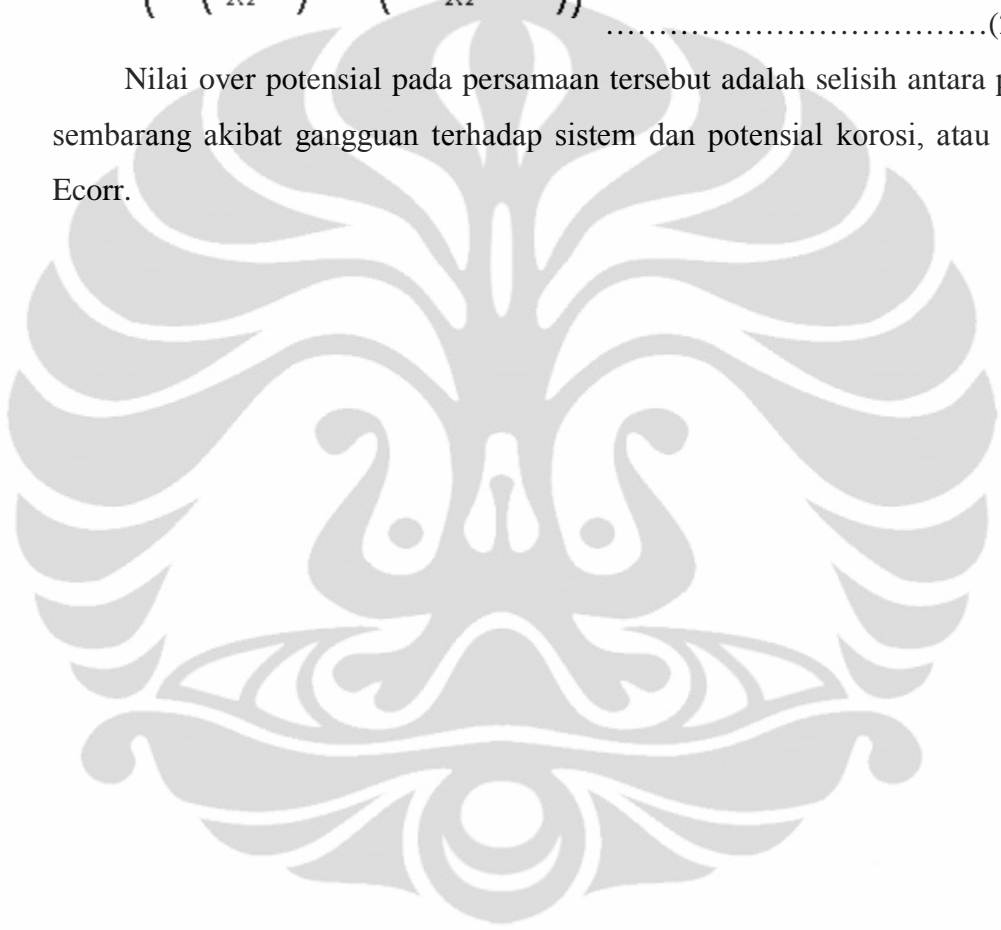
Polarisasi potensiodinamik adalah suatu metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik/katodik. Jika logam berada dalam kontak dengan larutan yang bersifat korosif, maka pada permukaan logam dapat terjadi reaksi reduksi dan reaksi oksidasi secara bersamaan disebabkan pada permukaan logam terbentuk banyak mikrosel (mikroanoda dan mikrokatoda). Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang diberikan dari luar sistem. Hal ini disebabkan ada perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya. Beda potensial ini dinamakan potensial korosi, E_{corr} . Jika ke dalam system sel elektrokimia diberikan arus searah dari luar (sumber DC) atau ditambahkan zat yang dapat mempengaruhi potensial sel, maka potensial logam akan lebih positif atau lebih negatif dibandingkan potensial korosinya, menghasilkan arus anodik atau arus katodik.

Perubahan potensial pada logam dinamakan polarisasi atau *over potensial*. Karakteristik polarisasi logam ditentukan berdasarkan kurva polarisasi potensiodinamik yang menyatakan aliran respon arus atau log arus sebagai fungsi potensial yang dibangkitkan. Polarisasi atau over potensial, η , adalah perubahan

potensial elektroda setengah sel dari posisi kesetimbangan dengan lingkungannya pada suatu proses elektrodik. Hubungan over potensial dan arus dapat digunakan untuk mengungkapkan laju korosi. Untuk proses kimia yang dikendalikan oleh laju transfer muatan (kinetika) berlaku persamaan Butler- Volmer yang dirumuskan pada persamaan dibawah ini.

$$I = i_0 \left(\exp \left(\frac{\alpha n F}{RT} \eta \right) - \exp \left(\frac{-(1 - \alpha) n F}{RT} \eta \right) \right) \dots\dots\dots(2. 21)$$

Nilai over potensial pada persamaan tersebut adalah selisih antara potensial sembarang akibat gangguan terhadap sistem dan potensial korosi, atau $\eta = E - E_{corr}$.

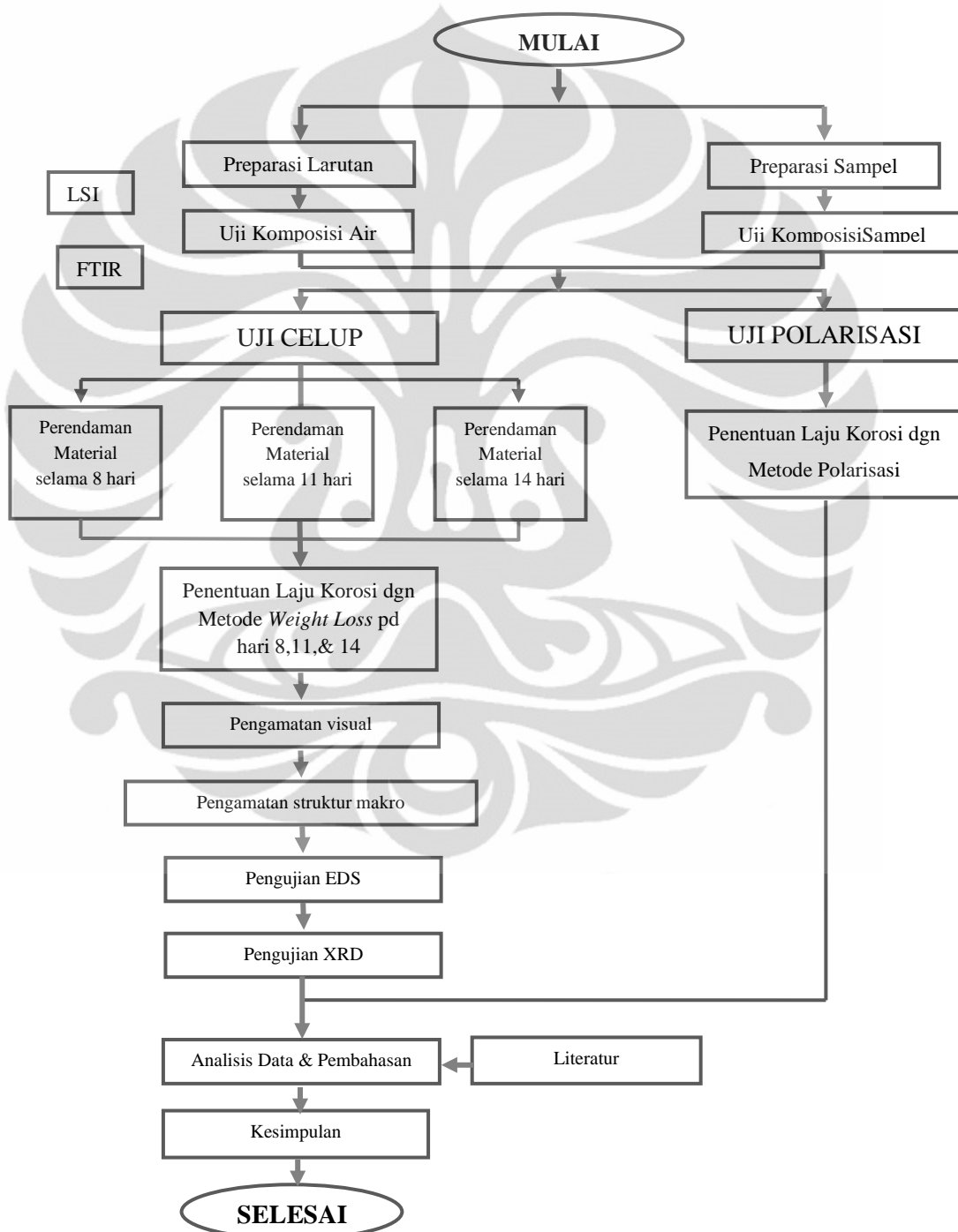


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Berikut diagram alir penelitian untuk pengujian:



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

1. Alat pemotong sampel
2. Mesin bor dan mata bor diameter 3 mm
3. Jangka sorong
4. Penggaris
5. Gunting
6. Kamera digital
7. Timbangan digital
8. Benang untuk menggantungkan sampel
9. Wadah plastik tipe PET untuk perendaman sampel
10. *Beaker glass* dan *Labu Erlenmayer* 1000 ml
11. *Hair dryer*
12. *Ultrasonic agitator*
13. Pipet tetes
14. Pinset
15. Spatula
16. Mesin Amplas
17. Mikroskop Optik
18. EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*)
19. OES (*Optical Emission Spectrometer*), untuk menguji komposisi sampel
20. XRD (*X-Ray Diffraction*)
21. FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)
22. Potentiostat:
 - a. Tabung polarisasi
 - b. Elektroda acuan: Ag/AgCl
 - c. Elektroda pembantu: grafit
 - d. *Luggin capillary*
 - e. PC dengan *software CMS 75*

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian, antara lain:

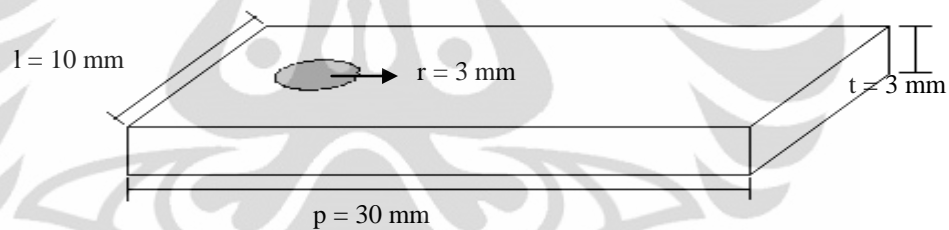
1. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja API 5L *Grade B*

- Komposisi (dalam %)

Tabel 3.1. Komposisi kimia material API 5L *Grade B* ^[12]

Baja	C	Mn	P	S	Si
API 5L Gr B	0.21-0.27	0.90/1.15	0-0.04	0-0.05	-

- Dimensi: 30 mm x 10 mm x 3 mm



Gambar 3.2. Sampel pengujian

- Densitas : 7.86 gr/cm^3

2. Fluida

- Fluida untuk pencelupan
Air formasi berinhibitor dari Perusahaan X
- Fluida untuk pengujian polarisasi
Air formasi berinhibitor dari Perusahaan X

3. Zat kimia untuk *pickling* : HCl 37 % Merck, *Toluena* (Thiner N), *Acetone*, NaHCO_3 , Inhibitor *baracor*

4. Aquades

5. Aseton/alkohol.
6. Resin (untuk *mounting* sampel)
7. Kabel diameter 1.5 mm
8. Timah solder
9. Kertas amplas #80, #100, #120, #150, #180, #200, #240, #300, #500, #600, #800, #1000, #1200, #1500

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Preparasi Sampel

Dalam preparasi sampel untuk pengujian ini dilakukan beberapa hal, antara lain:

1. Uji Komposisi

Material baja API 5L *Grade B* di uji komposisinya menggunakan alat OES (*Optical Emission Spectrometer*) (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 Alat OES (*Optical Emission Spectrometer*)

2. Pemotongan sampel

Untuk pengujian ini, material dipotong menjadi ukuran 30 mm x 10 mm x 3 mm. Ukuran sampel ini disesuaikan dengan ukuran wadah plastik yang digunakan untuk pencelupan. Berdasarkan ASTM G31-72, dimana volume larutan minimal untuk merendam sebuah sampel adalah

sebanyak 0,4 kali luas permukaan sampel.

3. Pengamplasan sampel

Sampel diampelas untuk menghilangkan oksida yang ada dipermukaan sampel. Pengamplasan menggunakan kertas amplas #100.

4. Pengeboran sampel

Sampel yang telah diampelas, kemudian dibor dengan mata bor berdiameter 3 mm pada bagian atas untuk penggantungan sampel.



Gambar 3.4 Alat bor

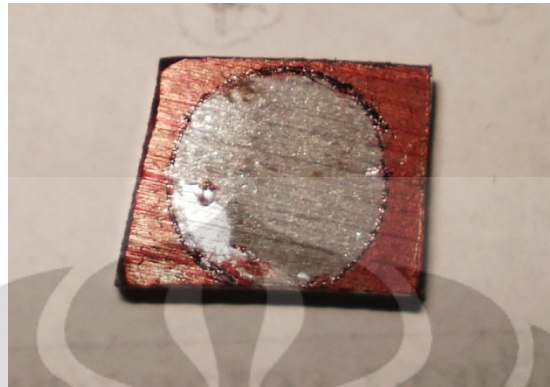
5. Pengambilan Foto

Setelah dilakukan pengeboran, sampel difoto terlebih dahulu untuk mendapatkan data kondisi visual sampel sebelum dilakukan pencelupan.

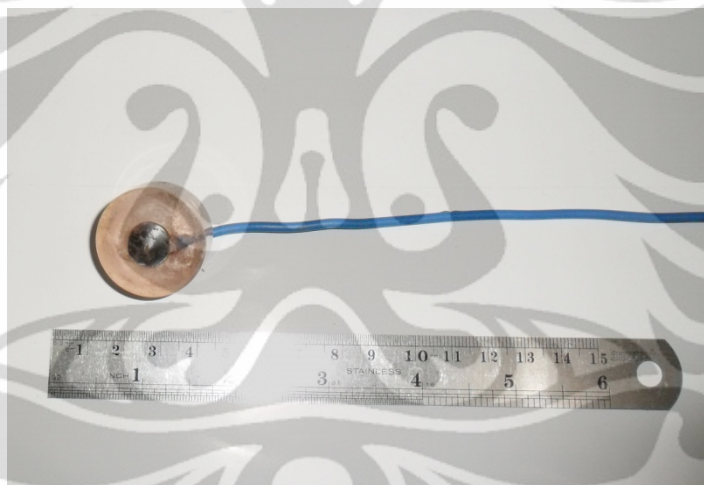
6. Sampel polarisasi

Sampel baja yang telah dipotong, kemudian dipotong lagi dibuat berbentuk lingkaran berdiameter 1 cm kemudian disambungkan dengan kabel dengan cara disolder, selanjutnya sampel di-*mounting* menggunakan resin. Proses solder bertujuan untuk menghubungkan elektroda kerja dengan kabel yang terhubung dengan potentiostat. Proses *mounting* dilakukan selain untuk menjaga agar permukaan yang kontak dengan larutan hanya bagian lingkaran saja juga untuk menjaga agar bagian kabel yang terkelupas tidak kontak (terekspose) dengan larutan.

Hal itu dikarenakan dapat mempengaruhi proses pengujian polarisasi.



Gambar 3.5 Bentuk sampel yang akan dipotong sisi-sisinya hingga menjadi lingkaran berdiameter 1 cm



Gambar 3.6 Sampel pengujian Polarisasi yang telah di-*mounting* dan disambung dengan kabel

3.3.2. Persiapan Larutan

Larutan yang digunakan pada penelitian ini adalah air formasi berinhibitor yang diambil di perusahaan X. Air ini telah diuji komposisinya di perusahaan X untuk mendapatkan data seperti pH, temperatur, dan beberapa data lainnya.

1. Uji komposisi Air

a. Uji LSI (Langelier Saturation Index)

Air fromasi ini telah diuji komposisinya di Laboratorium perusahaan X dengan mengacu pada ASTM D3739 – 06. Data yang didapat seperti pH, temperatur, dan beberapa data lainnya.

b. Uji FTIR

Pengujian komposisi air formasi yang mengandung inhibitor ini dilakukan untuk mengetahui gugus senyawa inhibitor yang terkandung dalam fluida tersebut. Pengujian FTIR dilakukan di Laboratorium Afiliasi Departemen Kimia Fakultas MIPA UI.

2. Perhitungan volume larutan

Berdasarkan ASTM G31-72, untuk pengujian celup skala laboratorium, volume larutan minimal untuk pengujian adalah:

$$\text{volume larutan} = 0,4 \times \text{luas permukaan sampel} \dots(3.2)$$

Luas permukaan sampel:

$$\begin{aligned} &= (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) - (2\pi r^2) + (t \times 2\pi r) \dots\dots\dots(3.3) \\ &= (2 \times 30 \times 10) + (2 \times 30 \times 3) + (2 \times 10 \times 3) - (2 \times 3,14 \times 3^2) + (1 \times 2 \times \\ &3,14 \times 3) \\ &= 764.64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume minimal} &= 764.4 \times 0,4 \\ &= 305.86 \text{ ml} \end{aligned}$$

Volume larutan minimal untuk sebuah sampel dengan luas permukaan 764.64 mm^2 adalah 305.86 ml. Dalam pengujian, volume yang digunakan adalah 306 ml.

3. Larutan untuk Pengujian Polarisasi

Pada penelitian ini air formasi yang digunakan adalah air formasi berinhibitor yang berasal dari Perusahaan X. Pada pengujian polarisasi, volume larutan yang digunakan yaitu 300 ml.

3.3.3. Perendaman Sampel dalam Larutan

Sampel yang telah dilakukan preparasi, digantung dengan benang dan kemudian dicelupkan kedalam wadah plastik yang telah berisi larutan air formasi berinhibitor pada temperatur ruang, dimana setiap satu sampel direndam pada 1 wadah.



Gambar 3.7 Wadah plastik untuk perendaman sampel

Waktu perendaman dilakukan selama 8 hari , 11 hari, dan 14 hari pada temperatur ruang.

3.3.4. Pengamatan Visual

Sampel yang telah direndam dalam air formasi berinhibitor pada temperatur ruang dan waktu tersebut, kemudian difoto untuk melihat adanya karat ataupun kemungkinan adanya endapan yang terbentuk pada permukaan sampel untuk kemudian dianalisa.

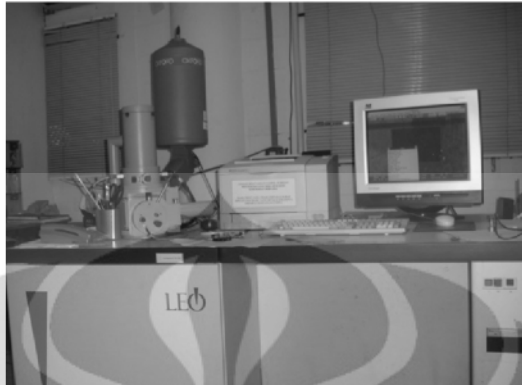
3.3.5. Pengamatan Struktur Makro

Sampel yang telah direndam dalam air formasi berinhibitor pada temperatur ruang dan waktu tersebut, kemudian difoto menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran lebih tinggi. Tujuan pengamatan makro ini adalah untuk melihat lebih jelas lagi adanya karat ataupun endapan yang sebelumnya tidak terlihat jelas di pengamatan visual.

3.3.6 Pangujian EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*)

Pengujian EDS ditujukan untuk mengetahui komposisi dari lapisan endapan atau produk korosi pada permukaan sampel tersebut. Sampel yang digunakan pada pengujian ini adalah sampel baja API 5L *Grade B* yang belum

dihilangkan endapannya. Pengujian EDS dilakukan di Laboratorium EDS, Departemen Metalurgi dan Material FTUI.



Gambar 3.8 Mesin SEM yang Dilengkapi dengan EDS di dalamnya

3.3.7 Pengeringan dan Pengambilan Endapan pada Sampel.

Setelah diamati secara visual, sampel yang masih basah dikeringkan dengan pengering rambut, kemudian diambil endapannya menggunakan spatula untuk pengujian kandungan karat dengan XRD.

3.3.9 Pengukuran Berat Akhir

Sampel di-*pickling* untuk menghilangkan sisa-sisa oksida pada permukaan, dibilas dengan air untuk menghilangkan zat *pickling* pada sampel dan dikeringkan menggunakan pengering rambut untuk menguapkan air. Sampel kemudian ditimbang dengan timbangan digital (Gambar 3.10) untuk menghitung berat setelah proses pencelupan.



Gambar 3.9 Timbangan digital

3.3.10 Penghitungan Laju Korosi

Dilakukan pengujian polarisasi menggunakan dua metode, yang pertama menggunakan metode *Weight Loss* (ASTM G 31-72) dan yang kedua yaitu metode Polarisasi Potensiodinamik (ASTM G 102). Hasil dari kedua pengujian ini menghasilkan data laju korosi, namun untuk metode *Weight Loss* hanya diperoleh data laju korosi Baja API 5L *Grade B* dalam lingkungan air formasi berinhibitor.

3.3.10.1 Metode *Weight Loss*

Dari perubahan berat yang terjadi pada sampel baja sebelum dan setelah dicelup, maka dapat dihitung laju korosinya menggunakan metode *Weight Loss*, sesuai dengan ASTM G 31-72, sesuai persamaan

$$3.4. \quad \text{Laju Korosi (Corrosion Rate)} = \frac{K.W}{D.A.T} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana :

K= Konstanta

W= Kehilangan Berat (gram)

D= Massa Jenis (g/cm^3)

A= Luas permukaan yang direndam (cm^2)

T= Waktu (Jam)

Dengan berat jenis baja API 5L *Grade B* berdasarkan perhitungan sebelumnya (persamaan 3.1) $7,62 \text{ gr/cm}^3$. Pada penelitian ini satuan laju korosi yang digunakan adalah *mills per year* (mpy), sehingga konstanta yang digunakan adalah $3,45 \times 10^6$.

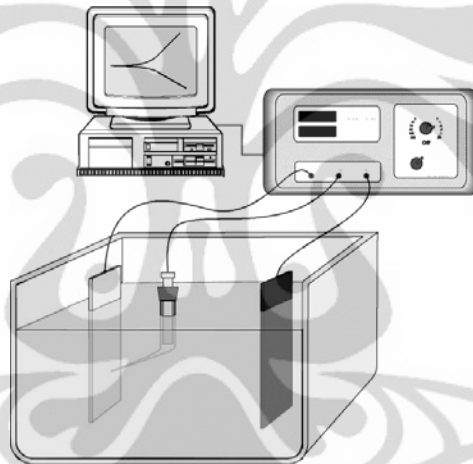
3.3.10.2 Metode Polarisasi Potensiodinamik

Pengujian korosi dilakukan dengan potensiodinamik Gamry. Gamry adalah sarana pengujian elektrokimia yang berupa *instrument card* dalam komputer yang berfungsi sebagai *computer controlled* potensiostat yang sudah dilengkapi dengan potensial *scan*. Potensial *scan* digunakan untuk

mengatur secara otomatis penambahan beda potensial. Potensiostat yang dilengkapi dengan potensial *scan* dinamakan potentiodynamik.

Pengujian dimulai dengan menentukan *Corrosion* Potensial terlebih dahulu, lalu dilanjutkan dengan pengujian Potensiodynamik (ASTM G102) untuk mendapatkan kurva polarisasi. Hasil pengujian dilanjutkan kedalam Microsoft Excel dengan bantuan perintah IVCURVE.XLM dari CMS 75 Grafik yang didapatkan dilakukan analisa tafel analisis untuk mendapatkan laju korosi secara otomatis.

Skema rangkaian uji Potensiodynamik dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Susunan rangkaian pengujian Polarisasi potensiodynamik ^[5]

3.3.11 Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui komposisi lapisan endapan yang terbentuk pada permukaan sampel baja API 5L *Grade B*. Lapisan endapan diambil dengan

- a. Mengangkat sampel yang telah direndam selama 14 hari pada temperatur ruang.
- b. Mengeringkan lapisan endapan yang terbentuk dipermukaan sampel menggunakan *hair dryer*.
- c. Mengambil endapan yang telah kering menggunakan spatula.

Lapisan endapan yang telah dipisahkan tersebut diuji dengan XRD di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Syarif Hidayatullah (UIN). Mesin XRD ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Mesin XRD

3.4 Pengambilan Data

Data-data yang diperlukan untuk penelitian ini antara lain:

1. Perubahan Berat Sampel

Data perubahan berat sampel diperoleh dari selisih berat awal sampel sebelum pencelupan dengan berat akhir sampel setelah pencelupan. Data

perubahan berat ini kemudian menjadi data olahan untuk perhitungan laju korosi metode *Weight Loss* (persamaan 3.4).

2. Pengamatan visual

Sampel difoto untuk melihat perubahan yang mungkin terjadi pada permukaan sampel.

3. Pengamatan Makro

Sampel difoto untuk melihat perubahan yang mungkin terjadi pada permukaan sampel pada perbesaran tertentu.

4. Pengujian EDS

Sampel diuji *Energy Dispersive Spectrometer* untuk dilihat komposisi lapisan permukaan.

5. Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

Endapan sampel diuji XRD untuk dilihat senyawa pembentuk endapan atau produk karat tersebut.

6. Pengujian FTIR

Air formasi berinhibitor diuji untuk mendapatkan data mengenai komposisi inhibitornya.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku korosi dan laju korosi baja API 5L *Grade B* dalam fluida air formasi mengandung inhibitor *scale*. Pada penelitian ini sampel baja API 5L *Grade B* direndam dalam air formasi berinhibitor selama 8, 11, dan 14 hari pada temperatur ruang (25.4°C-25.5 °C) untuk dilihat perubahan berat dan lapisan yang terbentuk di permukaannya serta pengaruh lingkungan tersebut terhadap laju korosi baja tersebut. Karena itu, pada penelitian ini perlu dilakukan analisis hasil pengamatan visual untuk melihat karakteristik lapisan atau produk korosi yang terbentuk pada baja API 5L *Grade B*, dimana analisis tersebut juga ditunjang oleh data hasil pengujian XRD, EDS serta pengamatan metalografi. Pengujian polarisasi potensiodinamik juga dilakukan untuk menunjang analisis perilaku korosi dan laju korosi pada baja API 5L *Grade B* dalam fluida air formasi mengandung inhibitor *scale* tersebut. Setelah dilakukan prosedur penelitian seperti yang diuraikan pada BAB III, maka hasil pengujian dan pengolahan data akan ditabelkan dan ditampilkan dalam bab ini.

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pengujian Komposisi air

Pengujian komposisi air formasi telah dilaksanakan di Laboratorium Uji Perusahaan X sebelum pencelupan dilakukan. Hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

pH pada 25 °C	:	8.2	-
Temperatur °F	:	76	-
Ca (sebagai CaCO ₃)	:	34	ppm
TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>)	:	5110	ppm
<i>Total Alkalinity</i>	:	2250	ppm
<i>Oil Content</i>	:	411	ppm
Cl ⁻	:	1050	ppm
SO ₄	:	1.98	ppm
Densitas	:	NA	ppm

<i>Langlier Index</i>	:	1.0729 (<i>Scaling Tendency</i>)
<i>Aggressive Index</i>	:	13.0837 (<i>Non Aggressive</i>)

Dari hasil pengujian tersebut dijelaskan bahwa air formasi yang menjadi media pencelupan tidak agresif namun cenderung membentuk *scale*.

4.1.2 Pengujian Komposisi sampel

Uji komposisi dilakukan pada sampel baja API 5L Grade B menggunakan OES (*Optical Emission Spectrometer*) untuk mengetahui komposisi baja tersebut. Hasil uji komposisi jenis baja ini ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Komposisi Baja API 5L Grade B

Unsur	Jumlah (%)
Fe	99.0
C	0.218
Si	0.270
S	0.024
P	0.015
Mn	0.383
Ni	< 0.005
Cr	0.026
Mo	<0.003
Ti	0.002
Cu	0.004
Nb	0.003
V	0.006
Al	0.002

4.1.3 Pengujian Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Hasil penimbangan berat sampel sebelum dan setelah pencelupan tersaji pada Tabel 4.2. Pengurangan berat merupakan selisih antara berat akhir (berat setelah pencelupan) dan berat awal (berat sebelum pencelupan) sampel.

Tabel 4.2. Tabel perubahan berat

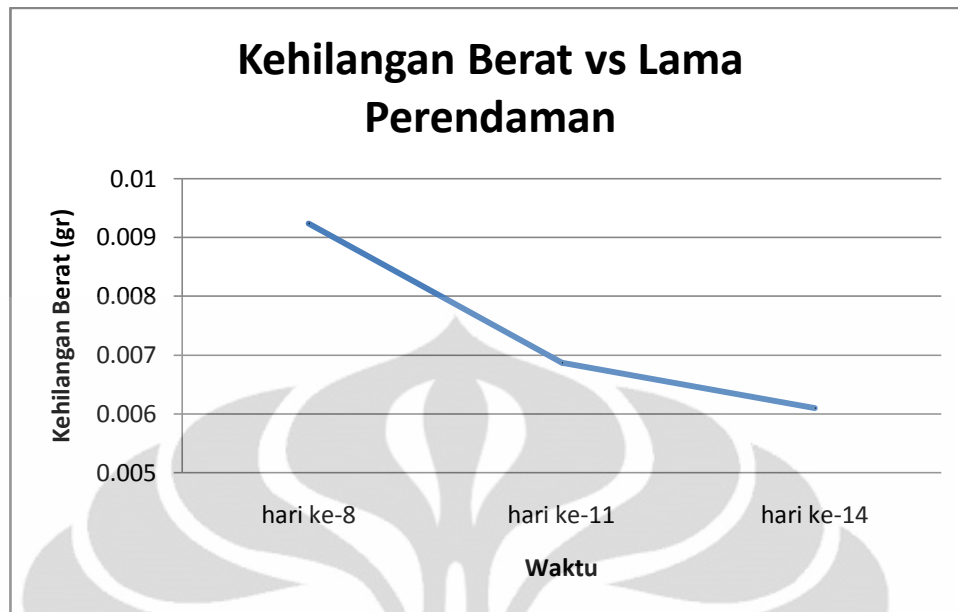
Perendaman	sampel no.	berat awal (gr)	berat akhir (gr)	Pengurangan berat (gr)	Rata-rata (gr)
hari ke-8	0801	7.4632	7.4543	0.0089	0.009233
	0802	7.6657	7.6571	0.0086	
	0803	8.1282	8.1180	0.0102	
hari ke-11	1101	7.7837	7.7765	0.0072	0.006867
	1102	8.3971	8.3897	0.0074	
	1103	7.1651	7.1591	0.006	
hari ke-14	1401	7.6404	7.6344	0.006	0.0061
	1402	6.9496	6.9419	0.0077	
	1403	7.5074	7.5028	0.0046	

Dari data perubahan berat yang didapat, selanjutnya dilakukan perhitungan Laju Korosi menggunakan metode *Weight Loss* berdasarkan persamaan 3.4. Nilai laju korosi dari hari ke-8, 11, dan 14 dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah.

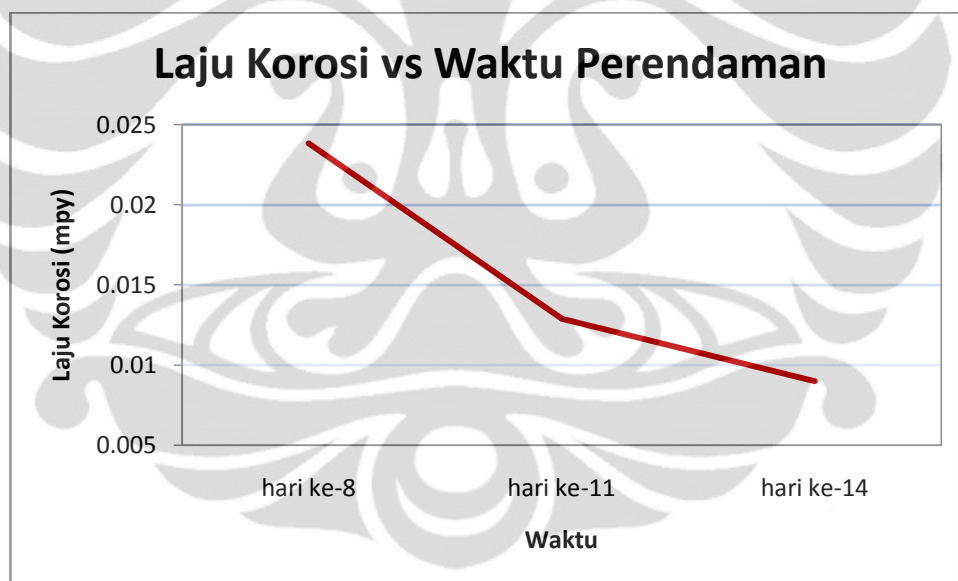
Tabel 4.3. Tabel Laju Korosi

Pencelupan	Laju Korosi (MPY)
hari ke-8	0.023823
hari ke-11	0.012886
hari ke-14	0.008994

Berdasarkan data perubahan berat dan data laju korosi, diperoleh Gambar 4.1 dan 4.2 dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 4.1. Grafik kehilangan berat sebagai fungsi dari waktu perendaman



Gambar 4.2. Grafik laju korosi sebagai fungsi dari waktu perendaman

4.1.4 Pengujian Visual

4.1.4.1 Sebelum Perendaman

Penampakan visual sampel sebelum dilakukan perendaman ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Sampel baja API 5L Gr. B sebelum direndam.


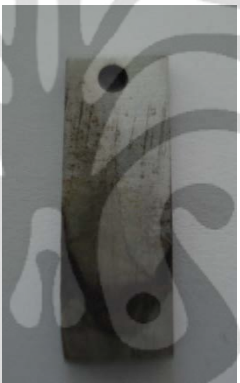



Gambar 4.4 Tampak Samping (tebal) baja sebelum direndam

4.1.4.2 Setelah Perendaman

Penampakan visual baja karbon setelah perendaman selama 8, 11 dan 14 hari pada temperatur ruang ditunjukkan pada Tabel 4.4 . Setelah perendaman terdapat lapisan atau endapan pada permukaan baja karbon. Baja difoto dengan lapisan endapan pada permukaannya.

Tabel 4.4 Sampel baja setelah perendaman di air formasi berinhibitor pada temperatur ruang

8 hari	11 hari	14 hari
		



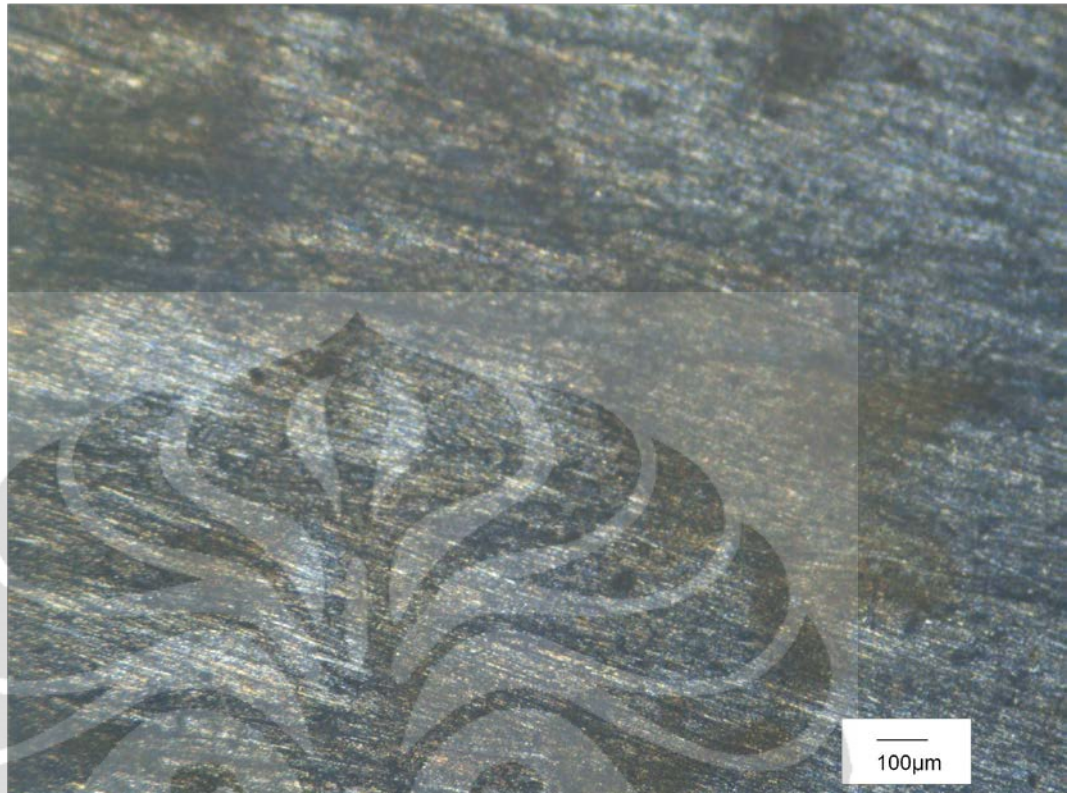
Gambar 4.5 Perbandingan Kondisi Sampel Setelah direndam (kiri) dan sebelum direndam (kanan)

4.1.5. Pengujian Struktur Makro

Dilakukan pengamatan struktur makro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x pada bagian permukaan sampel sebelum dilakukan perendaman dan segera setelah perendaman. Tidak dilakukan preparasi permukaan sampel demi menjaga kemungkinan adanya endapan ataupun produk korosi yang mungkin ada pada permukaan.



Gambar 4.6 Pengamatan Makro Permukaan sampel Baja API 5L *Grade B* sebelum Perendaman terlihat Bersih ; perbesaran 100 x



Gambar 4.7 Pengamatan Makro Permukaan sampel Baja API 5L *Grade B* setelah perendaman ; perbesaran 100x

4.1.7 Pengujian EDS

Dilakukan pengujian EDS pada bagian yang terdapat endapan di permukaannya untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada endapan tersebut. Hasil pengujian EDS ditunjukkan pada dan Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Komposisi Baja API 5L *Grade B* Hasil Uji EDS

Elemen	%
C	0.58
O	25.41
Si	2.22
Cl	1.10
Fe	70.70
Total	100.00



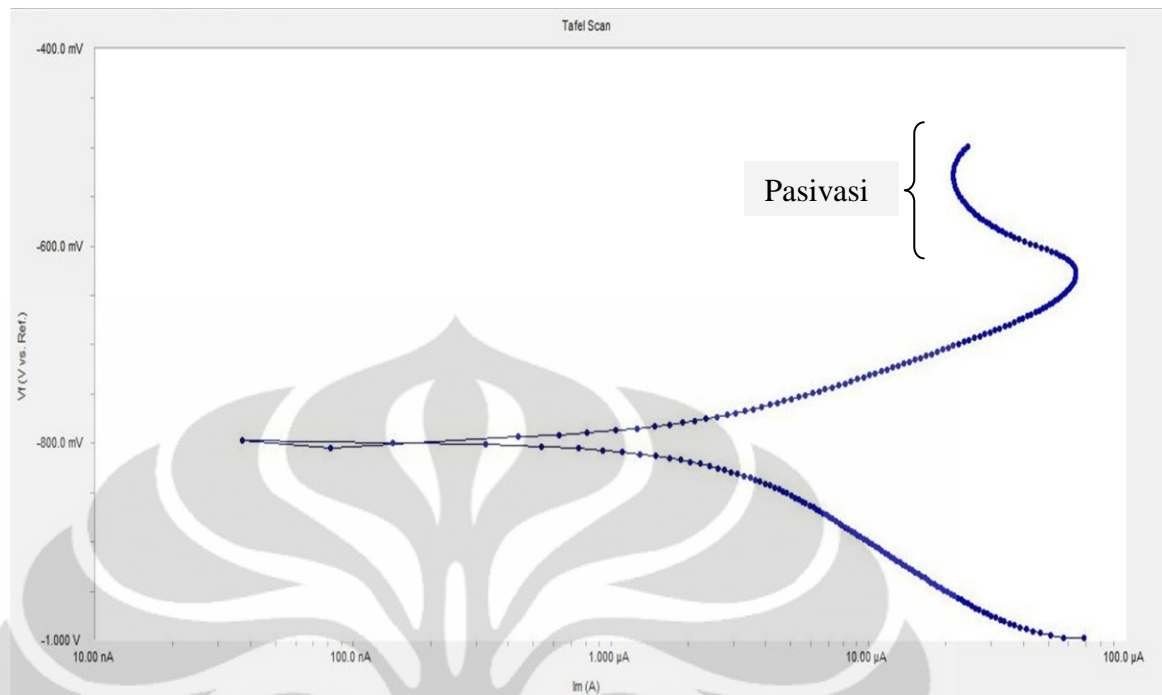
Gambar 4.10 Bagian sampel yang dilakukan pengujian EDS

4.1.8 Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan pada lapisan endapan yang terbentuk pada permukaan baja API 5L *Grade B*, yang diwakilkan oleh lapisan endapan baja yang telah direndam selama 14 hari di air formasi berinhibitor dengan temperatur ruang. Hasil pengujian XRD yang dilakukan di Laboratorium Terpadu UIN secara lengkap terdapat pada lampiran 4. Identifikasi hasil pengujian XRD dilakukan menggunakan mesin XRD Shimadzu dan *software x-powder*. Hasil identifikasi pengujian XRD menunjukkan pada sampel baja yang direndam selama 14 hari pada temperatur ruang mengandung Fe_3O_4 (magnetit).

4.1.9 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Pengujian Polarisasi potensiodinamik dilakukan pada sampel baja API 5L *Grade B* pada lingkungan air formasi berinhibitor. Dari pengujian polarisasi potensiodinamik diperoleh kurva polarisasi dan data laju korosi (*Corrosion Rate*) dalam mpy (*mils per year*) seperti pada gambar 4.11 dan tabel 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.11 Kurva Polarisasi Baja API 5L *Grade B* pada Lingkungan Air Formasi Berinhibitor

Tabel 4.6 Laju Korosi (*Corrosion Rate*) Hasil Uji Polarisasi Baja API 5L *Grade B* pada lingkungan air formasi berinhibitor

Kondisi	Hasil Pengujian Polarisasi		
	E_{corr} (mV)	I_{corr} (μA)	<i>Corrosion Rate</i> (mpy)
Air formasi berinhibitor	-799.0	2.660	1.548

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengamatan Visual & Pengamatan Makro

Pengamatan visual dilakukan pada material baja API 5L *Grade B* setelah dilakukan perendaman dengan air formasi berinhibitor pada temperatur ruang untuk melihat karakteristik lapisan yang terbentuk pada permukaan baja.

Pada foto hasil pengamatan visual, tabel 4.4, terlihat bahwa semakin lama waktu perendaman, endapan yang terbentuk pada permukaan semakin banyak. Semakin lama waktu perendaman memungkinkan baja untuk lebih banyak

terkorosi sehingga menghasilkan produk korosi (endapan karat) lebih banyak. Dari foto visual pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.5 terlihat pada permukaan baja yang direndam pada temperatur ruang terbentuk endapan berwarna coklat kehitaman.

Lebih lanjut lagi dibuktikan melalui pengamatan makro terlihat bahwa endapan yang terbentuk berwarna coklat kehitaman. Pengamatan lebih lanjut yaitu melalui pengujian struktur makro dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 100x. Pada Gambar 4.6 pengamatan makro dapat dilihat bahwa sebelum perendaman permukaan baja tersebut bersih dan tidak terdapat bercak atau endapan. Setelah perendaman, Gambar 4.7, terlihat bahwa di permukaan baja benar adanya endapan, endapan tersebut berwarna coklat kehitaman. Warna coklat kehitaman pada pengamatan makro ini sesuai dengan pengamatan visual yang dilakukan.

Tabel 4.7 Warna Produk Karat pada Baja Karbon^[16]

Jenis Baja	Warna Karat	Jenis Produk Karat
Baja Karbon	Kuning kehijauan s/d endapan hijau kotor	$\text{Fe}(\text{OH})_2$
	Merah kecoklatan	$\text{Fe}(\text{OH})_3, \text{FeO}(\text{OH})$
	Coklat kehitaman	Fe_3O_4 (magnetite)
	Kuning	Kation Fe^{3+} (Cl ↑↑)

Berdasarkan G. Shevla [16], maka produk karat yang terdapat pada baja karbon dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya seperti terlihat pada tabel 4.7 diatas. Berdasarkan pengamatan visual yang didukung lebih lanjut melalui pengamatan makro diketahui bahwa warna coklat kehitaman tersebut merupakan magnetit (Fe_3O_4) sesuai dengan tabel diatas.

4.2.3 Pengujian EDS

Dari hasil pengujian EDS pada lapisan yang terbentuk di permukaan baja, bagian yang ada endapan didapatkan unsur C, O, Si, Cl, Fe. Unsur oksigen

menunjukkan oksida pada baja yang diperoleh karena reaksi dengan air larutan perendaman. Unsur Fe pada uji EDS lebih rendah dibandingkan pada uji spektrometri yaitu 70.70 % sedangkan pada uji spektrometri adalah 99.0%. Kemungkinan perbedaan ini disebabkan Fe yang tertembak bukan Fe sebagai unsur utama pada baja melainkan Fe yang membentuk senyawa lain karena warnanya berbeda dengan warna baja sebelum perendaman. Warna yang gelap kecoklatan menunjukkan kemungkinan unsur O dan Fe membentuk Fe_3O_4 atau magnetit, yang merupakan produk korosi baja yang bersifat melekat pada permukaan baja^[17].

Unsur C pada uji EDS lebih tinggi dibandingkan pada uji spektrometri yaitu 0.58 % sedangkan pada uji spektrometri adalah 0.218 %. Hal ini kemungkinan didapat dari ion karbonat yang berasal dari lingkungan air formasi tersebut. Kandungan silikon juga lebih besar pada hasil EDS, hal ini disebabkan karena saat uji spektrometri range area penembakan lebih luas dari pada penembakan uji EDS, sehingga pada uji spektrometri diperoleh rata-rata nilai Si sedangkan pada uji EDS penembakan pada satu titik sehingga hasilnya lebih besar.

4.2.4 Pengujian XRD

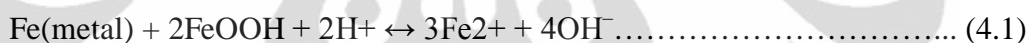
Berdasarkan hasil pengujian komposisi endapan menggunakan XRD pada sampel yang telah direndam dalam air formasi berinhibitor selama 14 hari pada temperatur ruang (lampiran 4), endapan yang terbentuk pada permukaan baja API 5L Grade B mengandung Fe_3O_4 (magnetit).

Musić S, dkk [18], dalam jurnalnya menunjukkan karat yang terbentuk pada permukaan baja karbon yang direndam dalam air biasa, yang biasanya mengandung ion karbonat atau bikarbonat ditemukan (α - FeOOH) sebagai fasa yang mendominasi, serta magnetite (Fe_3O_4) dan lepidocrocite (γ - FeOOH) sebagai fasa minor pada temperatur ruang.

Meisel, W [19] menunjukkan bahwa 1 mol baja yang terkorosi dapat membentuk produk korosi seperti terlihat pada Gambar 4.12 dari paling atas (bentuk logam) hingga bentuk akhir yang paling stabil. Dimana transisi ke arah atas membutuhkan energi, dan transisi ke arah bawah dapat berlangsung secara spontan. Tetapi

transisi ke arah bawah juga terhalang oleh energi aktivasi yang dibutuhkan untuk perpindahan ion dari struktur kisi untuk membentuk struktur baru. Sebagai contoh transisi dari $\text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ membutuhkan energi aktivasi 65 kJ dan transisi $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ membutuhkan 205 kJ. Pada kondisi yang mild atau ringan, korosi berhenti pada rentang tengah diagram yaitu biasanya $\gamma\text{-FeOOH}$, dan tidak dapat mencapai bentuk yang paling bawah atau hematit (Fe_2O_3).

García, K.E, et al [20] menyebutkan dalam jurnalnya bahwa akibat adanya endapan dipermukaan baja, maka elektrolit dapat terperangkap di dalam lapisan karat dengan kandungan oksigennya terbatas dibandingkan dengan bagian luar. Lapisan karat juga dapat menghalangi difusi ion oksigen dari lingkungan ke bagian dalam karat, sehingga konsentrasi oksigen pada bagian dalam rendah. Karena kandungan oksigen yang menipis, maka proses oksidasi dari Fe^{2+} ke Fe^{3+} sangat lambat sehingga memungkinkan terbentuknya magnetit. Semakin tipisnya oksigen yang berfungsi menerima elektron, maka endapan FeOOH berperan sebagai penerima elektron untuk oksidasi logam besi dengan reaksi ^[20] :



Meisel, W [19] juga menyebutkan terbatasnya oksigen dapat menghalangi transisi produk korosi berdasarkan diagram pada Gambar 4.12, dan korosi akan berhenti pada Fe_3O_4 .

4.2.5 Pengujian Weight Loss

Pengujian Weight Loss berdasarkan data pada tabel 4.2 dan perhitungan menggunakan persamaan 3.4 yaitu perhitungan berdasarkan metode Weight Loss sesuai dengan ASTM G 31-72 menghasilkan nilai laju korosi baja API 5L Grade B dalam lingkungan air formasi berinhibitor. Pada Gambar 4.1. Grafik Kehilangan Berat Sebagai Fungsi dari Waktu Perendaman terlihat bahwa kehilangan berat semakin menurun seiring dengan pertambahan waktu.

Gambar 4.2. Grafik Laju Korosi Sebagai Fungsi dari Waktu Perendaman juga menunjukkan pola yang sama dengan grafik di Gambar 4.1, laju korosi semakin menurun seiring dengan peningkatan waktu perendaman. Hal ini

kemungkinan dipengaruhi oleh kandungan oksigen terlarut pada lingkungan air dan suplai oksigen dari atmosfer.

Apabila dibandingkan dengan logam non-ferrous, seperti copper dan zinc, maka perilaku korosi pada baja karbon sedikit sensitif terhadap kualitas air [5]. Laju korosi pada baja dikontrol oleh proses katodik, yaitu suplai oksigen terlarut. Efek oksigen terlarut terlihat pada Gambar 4.13 dimana laju korosi meningkat dari tahap awal sampai ke tahapan tertentu, lalu turun. Penurunan laju korosi tersebut mengarah kepada terbentuknya lapisan pasif di permukaan.

Penurunan ini dikarenakan adanya lapisan tipis pada permukaan sampel. Lapisan tipis ini akan menjadi semacam pembatas yang memisahkan permukaan sampel dari media. Dengan semakin lamanya waktu yang diberikan, kemungkinan berakibat pada peningkatan ketebalan dan jumlah wilayah. Hal ini menyebabkan terjadi penurunan laju korosi yang lebih lanjut. Selain itu, penyebabnya bisa dari kontaminasi larutan perendaman oleh deposit korosi dari sampel sehingga menurunkan reaktivitas dari media.

4.2.6 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Pengujian Polarisasi Potensiodinamik ini menggunakan Elektroda Standar (Reference Electrode) berupa Saturated Calomel (SCE). Dalam rangkaian, SCE bekerja dengan menggunakan jembatan garam yang berisi garam KCl jenuh. Dilakukan pengujian pada baja API 5L Grade B pada dua kondisi yang berbeda. Lingkungan yang pertama yaitu berisi air formasi berinhibitor dan lingkungan yang kedua yaitu air formasi buatan yang komposisinya disesuaikan dengan hasil uji komposisi air tanpa tambahan inhibitor.

Pengujian pada lingkungan air formasi tak berinhibitor dilakukan dengan tujuan agar diperoleh perbandingan kondisi yang jelas. Hasil yang didapat dari pengujian ini yaitu berupa Potensial (V) vs Densitas Arus (A/cm^2). Dari gambar dapat dilihat pengaruh keberadaan inhibitor terhadap kurva polarisasi yang dihasilkan. Dari Gambar pertama terlihat bahwa terjadi peristiwa pasivasi. Pasivasi ini menunjukkan bahwa ada pembentukan pasif film pada permukaan baja tersebut.

Perhitungan laju korosi didapatkan dari kurva hasil pengujian dengan terlebih dahulu mencari nilai I_{corr} (Densitas Arus Korosi) dan E_{corr} (Potensial Korosi).

Icorr dan Ecorr dari sampel didapatkan dari ekstrapolasi tabel kurva. Ekstrapolasi dilakukan dengan menarik garis singgung pada bagian cabang anodik dan katodik yang memiliki kelurusan terbesar. Kedua garis singgung ini kemudian diperpanjang hingga bertemu pada suatu titik. Titik inilah yang menunjukkan Icorr dan Ecorr dari specimen pada larutan tersebut.

Harga laju korosi pada sampel yang diuji dengan metode polarisasi potensiodinamik ditentukan oleh nilai Icorr yang didapatkan. Pada tabel 4.5 dapat dilihat bahwa harga Icorr pada specimen yang dicelupkan pada media tanpa inhibitor lebih tinggi dari pada specimen yang dicelupkan pada media berinhibitor.

Pada tabel 4.5 nilai laju korosi pada sampel yang dicelupkan pada media tanpa penambahan inhibitor yaitu sebesar 5.167 mpy. Sedangkan harga laju korosi terkecil dimiliki oleh sampel yang dicelupkan pada media berinhibitor yaitu 1.548 mpy.

Berdasarkan tabel 4.8 diatas dapat diketahui bahwa nilai laju korosi 5.167 mpy masuk dalam kategori Good, hal ini berarti kondisi baja API 5L Grade B dalam lingkungan air formasi tanpa inhibitor berada dalam kondisi ketahanan terhadap korosi yang baik. Sedangkan untuk nilai 1.548 mpy sesuai tabel masuk dalam kategori Excellent, yang berarti sangat baik sekali.

Pada sampel yang dicelupkan pada media berinhibitor laju korosinya rendah. Rendahnya laju korosi ini dikarenakan adanya lapisan tipis pada permukaan specimen. Hal ini sekaligus menjelaskan trend pasivasi yang terjadi pada kurva polarisasi karena keberadaan lapisan tipis tersebut. Lapisan tipis ini akan menjadi semacam pembatas yang memisahkan permukaan sampel dari media.

Dikaitkan dengan hasil pengujian XRD, bahwa lapisan pasif yang terbentuk yaitu Fe_3O_4 kemudian dikaitkan dengan diagram pourbaix. Pada kurva polarisasi menunjukkan perilaku pasivasi, hal ini sesuai dengan daerah Fe_3O_4 pada diagram Pourbaix yang menunjukkan daerah pasif seperti terlihat pada gambar berikut.

Adanya lapisan tipis tersebut menjadi pelindung baja karbon bereaksi lebih lanjut dengan lingkungannya. Hal ini menyebabkan terjadi penurunan laju korosi yang lebih lanjut hingga pada suatu titik tertentu dimana ketika sudah mencapai titik jenuh, laju korosi pada sampel menjadi konstan. Adanya lapisan pasif yang mempengaruhi kurva polarisasi ini sekaligus turut memperjelas bahwa apa yang dilihat pada sampel secara mikroskopis adalah benar merupakan lapisan pasif pada baja tersebut terbentuk.



BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan pengamatan yang dilakukan, kesimpulan yang didapat pada penelitian ini, antara lain :

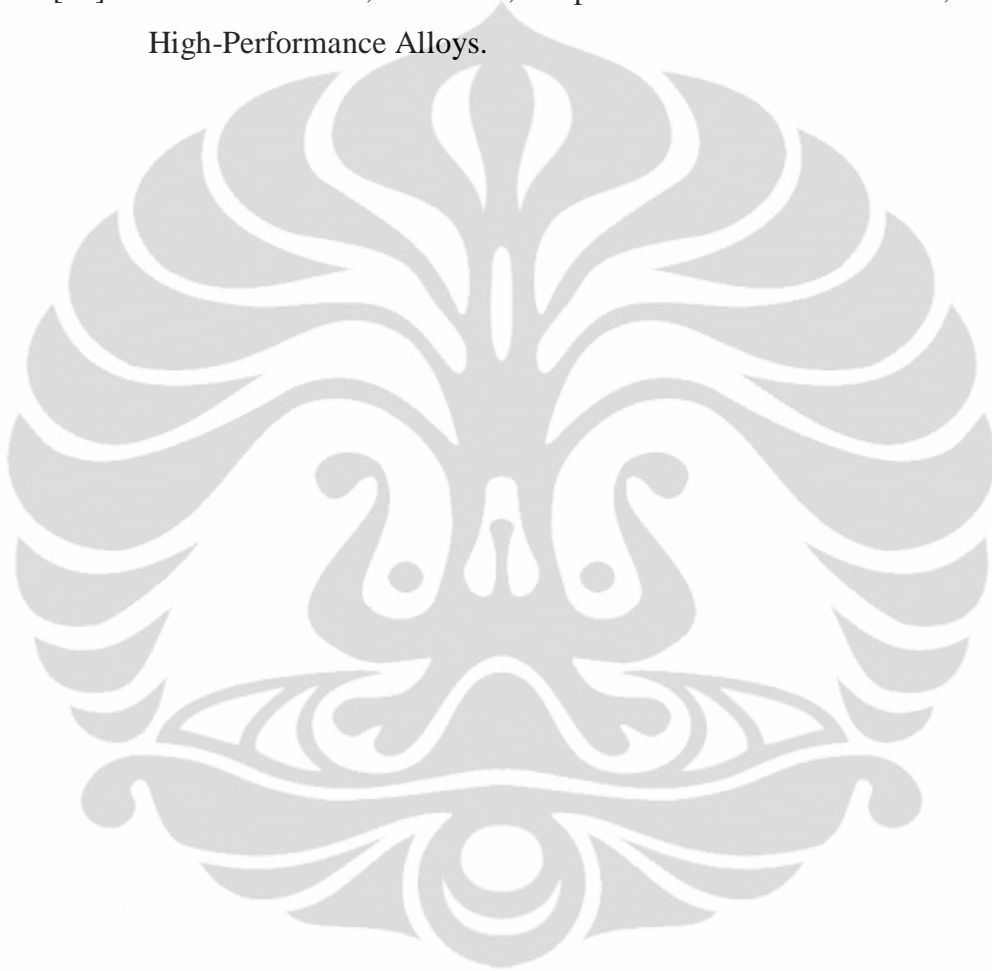
1. Baja API 5L Grade B dalam air formasi berinhibitor memiliki kecepatan korosi 1.548 mpy.
2. Baja API 5L Grade B dalam lingkungan air formasi berinhibitor tersebut mengalami penurunan laju korosi seiring dengan penambahan waktu.
3. Penurunan laju korosi tidak disebabkan oleh kinerja inhibitor melainkan karena terbentuknya lapisan pasif pada permukaan baja API 5L Grade B dalam lingkungan air formasi berinhibitor tersebut.
4. Produk korosi yang terbentuk pada baja API 5L Grade B dalam air formasi berinhibitor tersebut adalah senyawa Fe_3O_4 yang berwarna coklat kehitaman, senyawa Fe_3O_4 ini merupakan lapisan pasif.
5. Perambatan retak tidak terjadi pada *exposure* baja API 5L Grade B dalam lingkungan tersebut.

DAFTAR ACUAN

- [1] Roberge , Pierre R, “ *Handbook of Corrosion Engineering*”, McGraw-Hill, 2000 .
- [2] Shreir , LL, “*Corrosion Metal/Environment Reactions Volume I 3rd Edition*”, Butterworth-Heinemann, 2000
- [3] Dalimunthe, Indra Surya. “Kimia dari Inhibitor Korosi”. Universitas Sumatera Utara.
- [4] Jones, Denny. 1992. “*Principles and Prevention of Corrosion*”. New York: Macmillan Publishing Company.
- [5] ASM International. (1992). *Metals Handbook Volume 13: Corrosion* (4thed.). Philadelphia: Korb, Lawrence J., & David L. Olson.
- [6] Soror, T.Y. “Scale and Corrosion Prevention in Cooling Water Systems PartI: Calcium Carbonate”. 2009
- [7] Ahmad, Zaki, "Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control", Elsevier Science & Technology Book, 2006.
- [8] Balysis, D. A dan D. H. Deacon, "Steelwork Corrosion Control Second Edition", Taylor & Francis e-library, 2004.
- [9] Revie, R. Winston. (2000). *Uhlig's Corrosion Handbook* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.
- [10] Musić ,S, et al, “*The Effect of Bicarbonate/Carbonate Ions on the Formation of Iron Rust*” *CROATICA CHEMICA ACTA CCACAA* **77** (1–2) 141 – 151, 2004.
- [11] Meisel, W, “*Degradation of Material and Passivity*”, *Hyperfine Interaction* **111**, 59 – 70, 1998.
- [12] The Temperature Effect On Corrosion Processes, Microstructure And Morphology Of Corrosion Products Of An Api 5lx-52 Steel Immersed In A Co(G) Saturated Brine Solution G. E Zambrano-Rengel, Peru, 2007
- [13] A.R Bustal. “Analisa Kerusakan Pipa Api 5L X42 ERW dan Seamless untuk Transportasi Minyak.” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok,1999.

- [14] <http://hazwelding.wordpress.com/2008/11/11/api-51-pipe-summary-in-bahasa/> (diakses Juni 2011)
- [15] Electrochemical Behaviour of Low Carbon Steel in Aqueous Solutions F.Nabhani, A. M. Jasim and S.W.Graham Proceedings of the World Congress on Engineering 2007 Vol II WCE 2007, July 2 - 4, 2007, London, U.K.
- [16] Samuel A. Bradford, Corrosion Control (New York: Van Nostrand Reinhold, 1993) hal 1-3
- [17] J.R. Davis, Introduction to Surface Engineering for Corrosion and Wear (ASM International, 2001) hal 11-14
- [18] Patton, Charles C , “Applied Water Technology second edition” , Campbell Petroleum Series, USA, september 1995
- [19] <http://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm> Diakses Juni 2011
- [20] Pencegahan Korosi Dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi Halimatuddahlia, Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara ©2003 Digitized by USU digital library
- [21] Bardal ,Einar, “Corrosion And Protection” , Springer, December 2003
- [22] Fontana, G. 1986. “*Corrossion Engineering*”. New York: McGraw-Hill Book Company.
- [23] http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/31/042/31042161.pdf
- [24] http://www.haywardgordon.com/documents/PRODUCED_WATER_CHEMICAL_TREATMENT_101.pdf
- [25] CORROSION OF CARBON STEEL IN HYDROCARBON ENVIRONMENTS Prepared by: Professor Roy Johnsen, Inst. of Engineering Design and Materials. Trondheim June 2004
- [26] Garci´a a ,K.E, et al, “New Contributions to The Understanding of Rust Layer Formation in Steels Exposed to A Total Immersion Test” , Elsevier Ltd, 2005.
- [27] Y. Waseda S. Suzuki (Eds.), Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces, © Springer Berlin Heidelberg 2006

- [28] Dwi Rahmalina “Studi Pengaruh Proses Penuaan terhadap Korosi Retak Tegang pada Paduan Al 2024 dan Al 7075” Skripsi Program Sarjana Fakultas Teknik UI. Depok 1992
- [29] G.Shevla, Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro Edisi ke-5, (PT Kalman Media Pustaka, 1990)
- [30] ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys.





Vico Indonesia

72

Jl Cendrawasih No 1
Muara Badak, Kutai Kartanegara
Kalimantan Timur - Indonesia 75382
P.O. Box 1400, Samarinda Kaltim 75001
Phone : (0541) 204000, 525000
Fax. : (0541) 525359

Laboratory Analysis Report
Langlier Saturation Index
(ASTM D3739 – 06)

Requested by	: Technical Services Section	Received Date	: Jan 17, 2011
Location	: Badak Asset	Report Date	: Jan 20, 2011
Sample Point	: P-7610 A	Maximo No	: 2146018
Sample Name	: Water	Ref. No	: 096-2
Sample Date	: January 17, 2011	File No	: 06:01:11

Parameter Test:

pH @ 25 °C	:	7.6	-
Temperature °F	:	80	-
Ca as CaCo3	:	24	ppm
TDS	:	5710	ppm
Total Alkalinity	:	2370	ppm
Langlier Index	:	0.3886 (Scaling Tendency)	
Aggressive Index	:	12.3550 (Non Aggressive)	
H2S	:	2.13	ppm
Oil Content	:	87	ppm
Cl	:	1050	ppm
SO ₄	:	ND	ppm
TSS	:	48	ppm
Density	:	1.005	ppm
Visc. @40°C	:	0.6745	cst

Analyst

M. Syahwan/M. Nurwahyudi


Corr. & Lab. Superintendent

cc :
Laboratory File

Laboratory Administrator Email : Jhoni.Pakiding@vico.co.id
Telp : 0541 525336 Fax : 0541 525359

Note:

The analysis result only represent the sample submitted and tested




DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
 Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 78888 111, 7872 350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id, cmpfa.ui@gmail.com

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT
 Page 2 of 2

No Laporan <i>Report Nr</i>	0547	Bahan <i>Material</i>	Steel
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Halwan Jaya (Mahasiswa Metalurgi UI)	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	B
Alamat <i>Address</i>	-	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	September 2 nd , 2010
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	1004/PT.02/FT04/P/2010	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	September 3 rd , 2010	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
B	0.192	0.267	<0.005	0.009	0.489	<0.005	0.046
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	0.005	<0.002	0.023	<0.003	0.003	<0.002	98.9

Depok, September 7th, 2010
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Technical Manager,

 (Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

FF-26/Met-UI Rev 1

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji Material : publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji Material

*** Basic Data Process ***

Group : 47
Data : S-01

Strongest 3 peaks

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	14	35.3150	2.53951	100	2.81000	62	8016
2	11	29.5800	3.01751	65	1.28000	40	2355
3	9	24.5466	3.62366	63	1.98670	39	4407

Peak Data List

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	12.0500	7.33882	31	0.58000	19	683
2	13.2200	6.69183	31	0.84000	19	809
3	15.0300	5.88979	26	0.70000	16	925
4	17.3800	5.09834	21	0.40000	13	551
5	18.4633	4.80158	40	0.71330	25	985
6	19.7200	4.49833	40	0.94000	25	1176
7	21.0100	4.22496	60	1.18000	37	2856
8	22.4400	3.95885	45	0.00000	28	0
9	24.5466	3.62366	63	1.98670	39	4407
10	27.1625	3.28033	56	2.63500	35	3938
11	29.5800	3.01751	65	1.28000	40	2355
12	31.9275	2.80079	53	1.38500	33	3631
13	33.7800	2.65131	40	0.00000	25	0
14	35.3150	2.53951	100	2.81000	62	8016
15	38.4600	2.33877	16	0.00000	10	0
16	39.9116	2.25699	23	0.27670	14	448
17	41.5200	2.17320	5	0.02000	3	21
18	41.9046	2.15414	32	0.14270	20	280
19	44.6800	2.02656	19	0.32000	12	237
20	45.5166	1.99124	19	0.12670	12	184
21	47.1900	1.92446	26	0.18000	16	396
22	50.2313	1.81483	24	0.31070	15	338
23	51.8400	1.76223	19	0.24000	12	278
24	53.0066	1.72616	37	0.90670	23	1695
25	55.4600	1.65547	19	0.20000	12	231
26	56.5433	1.62630	27	0.58670	17	888
27	59.1500	1.56069	48	0.30000	30	870
28	61.2960	1.51110	32	0.27200	20	493
29	62.5866	1.48300	40	0.26670	25	791
30	64.2050	1.44947	35	0.35000	22	896
31	66.8250	1.39886	32	1.09000	20	1355
32	68.2100	1.37379	26	0.50000	16	562
33	69.7133	1.34780	37	0.46670	23	724
34	70.5800	1.33336	16	0.00000	10	0
35	70.9900	1.32666	34	0.62000	21	887
36	73.0125	1.29482	32	0.34500	20	691
37	76.2133	1.24820	19	0.30670	12	267
38	77.7400	1.22746	5	0.04000	3	25
39	78.9816	1.21125	27	0.25670	17	344
40	80.9233	1.18701	24	0.24670	15	415
41	83.1200	1.16113	18	0.16000	11	247
42	85.7900	1.13170	27	0.78000	17	1077
43	86.8400	1.12070	50	0.52000	31	1102
44	87.8800	1.11009	11	0.00000	7	0
45	89.2591	1.09648	34	0.38830	21	694

```
*** Basic Data Process ***

# Data Information
  Group           : 47
  Data            : S-01
  Sample Name     : S-01
  Comment         :
  Date & Time     : 06-27-11 13:13:48

# Measurement Condition
  X-ray tube
    target         : Cu
    voltage        : 40.0 (kV)
    current        : 30.0 (mA)

  Slits
    Auto Slit     : not Used
    divergence slit : 1.00000 (deg)
    scatter slit   : 1.00000 (deg)
    receiving slit  : 0.30000 (mm)

  Scanning
    drive axis     : Theta-2Theta
    scan range     : 10.0000 - 90.0000 (deg)
    scan mode      : Continuous Scan
    scan speed     : 2.0000 (deg/min)
    sampling pitch : 0.0200 (deg)
    preset time    : 0.60 (sec)

# Data Process Condition
  Smoothing [ AUTO ]
    smoothing points : 51
  B.G.Subtraction [ AUTO ]
    sampling points  : 51
    repeat times     : 30
  Kal-a2 Separate [ MANUAL ]
    Kal a2 ratio     : 50 (%)
  Peak Search [ MANUAL ]
    differential points : 101
    FWHM threshold    : 0.050 (deg)
    intensity threshold : 30 (par mil)
    FWHM ratio (n-1)/n : 2
  System error Correction [ NO ]
  Precise peak Correction [ NO ]
```

< Group: 47 Data: S-01 >

