



TUGAS AKHIR - TM141585

**PENGARUH *SULPHATE REDUCING BACTERIA*  
(SRB) PADA KOROSI BAJA KARBON RENDAH  
JIS G3101 GRADE SS400 DI MEDIA *CRUDE OIL*  
AEROB DAN ANAEROB**

Putri Ika Wahyu R. J.  
NRP 2110 100 049

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA.

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015



FINAL PROJECT - TM141585

**THE EFFECT OF *SULPHATE REDUCING BACTERIA (SRB)* ON CORROSION OF LOW CARBON STEEL JIS G3101 SS400 GRADE IN AEROBIC AND ANAEROBIC CRUDE OIL MEDIA**

Putri Ika Wahyu R. J.  
NRP 2110 100 049

Academic Supervisor  
Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA.

Mechanical Engineering Department  
Fakulty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015

**PENGARUH *SULPHATE REDUCING BACTERIA*  
(SRB) PADA KOROSI BAJA KARBON RENDAH JIS  
G3101 GRADE SS400 DI MEDIA  
*CRUDE OIL* AEROB DAN ANAEROB**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**PUTRI IKA WAHYU RETNO JUWITA  
NRP. 2110 100 049**

**Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:**

1. Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA ..... (Pembimbing)  
(NIP. 196308151989032001)
2. Ika Dewi Wijayanti, ST, M.Sc ..... (Penguji I)  
(NIP. 198512022014042002)
3. Indra Sidharta, ST, M.Sc ..... (Penguji II)  
(NIP. 198006192006041004)
4. Dr. Ir. Soeharto, DEA ..... (Penguji III)  
(NIP. 194809111981031001)

**SURABAYA, Juli 2015**

**Pengaruh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* pada  
Korosi Baja Karbon Rendah JIS G3101 Grade SS400 di  
Media *Crude Oil* Aerob dan Anaerob**

Nama Mahasiswa : Putri Ika Wahyu R. J.  
NRP : 2110 100 049  
Jurusan : Teknik Mesin  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

**ABSTRAK**

*Microbiological Influenced Corrosion (MIC)* adalah peristiwa korosi yang diperparah oleh aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme melakukan metabolisme menghasilkan zat sisa pembuangan yang membuat lingkungan menjadi korosif. Salah satu lingkungan yang mengandung mikroorganisme adalah crude oil, dimana terdapat bakteri anaerob *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* di dalamnya. SRB merupakan salah satu penyebab MIC paling besar di industri minyak dan gas, dimana sebagian besar komponen yang digunakan adalah logam. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh jumlah SRB pada korosi baja karbon rendah di media crude oil aerob dan anaerob.

Pada penelitian ini, spesimen yang digunakan adalah baja karbon rendah JIS G3101 SS400. Dimensi spesimen adalah 20 mm x 20 mm x 4 mm. Bakteri yang digunakan adalah *Sulphate Reducing Bacteria* dengan genus *Desulvofibrio desulfuricans*. Sebelum pengkondisian, dilakukan pengembangbiakan pada bakteri. Pada crude oil, dilakukan uji kandungan sulfur untuk mengetahui kadar sulfur di dalam crude oil serta pengukuran pH dan perhitungan jumlah bakteri pada masing-masing media. Selanjutnya, dilakukan pengkondisian pada media crude oil (60 ml) pada lingkungan aerob dan anaerob selama 30 hari dan 60 hari. Pengkondisian anaerob pada 50 ml crude oil yang ditambahkan 10 ml SRB dan 30 ml crude oil yang ditambahkan 30 ml SRB, serta media aerob pada 30 ml crude oil yang

ditambahkan 30 ml SRB dilakukan pada 4 rentangwaktu, yaitu 15 hari, 30 hari, 45 hari, dan 60 hari. Secaraperiodik, setelah 15 hari pengkondisian dilakukan pengamatan yang meliputi pengamatan visual spesimen, pengamatan penampang melintang spesimen, uji senyawa produk korosi di lapisan permukaan logam, serta perhitungan jumlah bakteri di permukaan spesimen.

Aktivitas metabolisme SRB pada crude oil mengakibatkan kerusakan pada logam, berupa adanya perubahan warna pada permukaan spesimen disertai kemunculan korosi sumuran. Pada crude oil tanpa penambahan SRB, korosi yang terjadi semakin parah pada waktu pengkondisian yang semakin lama. Lingkungan anaerob pada crude oil memperparah korosi yang terjadi. Pada waktu pengkondisian yang sama, komposisi produk korosi yang dihasilkan di media crude oil sama. Perbedaan waktu pengkondisian menghasilkan komposisi produk korosi yang berbeda. Pada waktu pengkondisian yang sama, semakin banyak SRB yang ditambahkan pada media crude oil, maka semakin banyak bakteri yang tumbuh di permukaan spesimen. Dengan semakin banyak SRB yang hadir, kerusakan yang terjadi di permukaan spesimen semakin parah, korosi sumuran yang muncul semakin banyak dan semakin dalam. Perbedaan jumlah SRB pada media menghasilkan komposisi produk korosi yang berbeda. Spesimen yang dikondisikan di lingkungan anaerob mengalami kerusakan yang lebih parah dari lingkungan aerob. Hal ini terjadi karena SRB lebih cepat tumbuh dan berkembang di lingkungan anaerob dari lingkungan aerob karena SRB merupakan bakteri anaerob fakultatif, yaitu bakteri yang dapat tumbuh dan berkembang secara optimal di lingkungan anaerob. Korosi sumuran lebih cepat tumbuh pada permukaan atas dibandingkan permukaan bawah spesimen, karena memiliki arah yang sama dengan gravitasi.

**Kata kunci : Microbiological Influenced Corrosion, Sulphate Reducing Bacteria, crude oil, aerob, anaerob.**

# **The Effect of *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* on Corrosion of Low Carbon Steel JIS G3101 SS400 Grade in Aerobic and Anaerobic Crude Oil Media**

Name of Student : Putri Ika Wahyu R. J.  
NRP : 2110 100 049  
Department : Mechanical Engineering  
Advisor Lecturer : Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA

## **ABSTRACT**

*Microbiological Influenced Corrosion (MIC) is a corrosion that exacerbated by the activity of microorganisms. Metabolizing microorganisms produce residual substances that make a corrosive environment. One of the environments containing microorganisms is crude oil, which is anaerobic Sulphate Reducing Bacteria (SRB) in it. SRB is one of the biggest causes of MIC in the oil and gas industry that most of the components used are metal. It is necessary to investigate the effect of SRB on corrosion of low carbon steel in aerobic and anaerobic crude oil media.*

*Specimens used for this research are low carbon steel JIS G3101 SS400 grade. Specimen dimensions are 20 mm x 20 mm x 4 mm. The bacteria used is Sulphate Reducing Bacteria in the genus of *Desulvofibrio desulfuricans*. Before conditioning, proliferation of bacteria was done. For crude oil, sulfur content test to determine levels of sulfur in the crude oil was done, also pH measurement and calculation of the initial bacterial in each media was done. Furthermore, conditioning of crude oil (60 ml) in anaerobic and aerobic environment was done for 30 days and 60 days. Anaerob conditioning of 10 ml SRB added in 10 ml crude oil and 30 ml SRB added in 30 ml crude oil also aerobic media with the addition of 30 ml SRB to 30 ml crude oil was done at 4 range of time, which is 15 days, 30 days, 45 days, and 60 days. Periodically, after 15 days of conditioning, observations was done including visual observation of specimens, number of pitting*

*corrosion observation, observation of the specimens cross section, test compound of corrosion products on the metal surface layer, and the calculation of the bacteria number in the specimens surface.*

*SRB metabolic activity in crude oil conduce damage in the metal, that known by discoloration on the surface of the specimen with the presence of pitting corrosion. For crude oil without additional SRB, corrosion more severe for the longer conditioning time. Anaerob environment for crude oil make corrosion more severe. In the same conditioning time, composition of corrosion product are same. Differences conditioning time produce different composition of specimens corrosion product. In the same conditioning time, more additional of SRB into the crude oil, result more growing bacteria on the specimen surface. More SRB present, the damage on the surface of the specimen more severe, number of pitting corrosion increase and the depth of pitting deeper. Differences ammount of SRB in the media produce different composition of corrosion products. Aerobic and anaerobic environmental of crude oil produce the same composition of corrosion product at the same conditioning time. Differences conditioning time produce different composition of specimens corrosion product. Specimens conditioned in anaerobic environment has more severe damage. It is because SRB grow and develop faster in the anaerobic environment than aerobic environment because SRB of the *Desulfovibrio desulfuricans* genus is a facultative anaerobic bacteria, that is grow and develop optimally in the anaerobic environment. Pitting corrosion grow faster on the top surface than the bottom surface of the specimen because it has same direction with gravitation.*

**Keywords : Microbiological Influenced Corrosion, Sulphate Reducing Bacteria, crude oil, aerob, anaerob.**

## KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, karunia, petunjuk dan pertolongan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Pengaruh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* pada Korosi Baja Karbon Rendah JIS G3101 Grade SS400 di Media *Crude Oil* Aerob dan Anaerob**”.

Tugas akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis bermaksud untuk mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, **Dwi Wahyu Ismianto** dan **Marchamah** untuk segala doa, restu, pengorbanan, dan motivasi yang tidak pernah bosan dan habis kepada penulis, serta kedua adik penulis, **Gembul** dan **Memet** yang selalu membuat ulah dan berantakan seisi rumah di tengah pusingnya pengerjaan tugas akhir, makasih bingit loh.
2. Ibu **Dr. Ir. H. C. Kis Agustin, DEA** selaku dosen pembimbing tugas akhir ini. Terima kasih untuk semua waktu, kritik, saran, dan motivasi yang diberikan ditengah-tengah kesibukan ibu, tanpa itu semua sampai sekarang penulis tidak dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Serta terima kasih yang sangat besar atas kesabaran ibu menghadapi segala kekurangan dan kelebihan saya, dan benar yang ibu pernah katakan, bahwa proses ini tidak akan terupakan.
3. Bapak **Dr. Eng. Suktikno, ST, MT** selaku dosen wali sekaligus kepala laboratorium Metalurgi yang telah memberikan perhatian, kritik dan saran selama 10 semester ini.



4. Ibu **Ika Dewi Wijayanti, ST, M.Sc**, Bapak **Indra Sidharta, ST, M.Sc**, Bapak **Dr. Ir. Soeharto** selaku dosen penguji tugas akhir. Terima kasih atas semua nasihat serta saran yang diberikan.
5. Untuk semua karyawan yang membantu proses pengerjaan tugas akhir ini, mulai dari karyawan Jurusan Teknik Mesin, **Mas Faisal** yang luar biasa berdedikasi dalam hal penyediaan hingga pemotongan spesimen, **Pak Mantri** yang selalu menemani mengambil foto melalui mikroskop dan memberikan pencerahan tentang pengukuran langsung melalui *software*, **Mas Agus** yang berbaik hati memasang kertas gosok pada gerida tangan, hingga **Mbak Merry**, karyawan Laboratorium Limbah Padat dan B3 Jurusan Teknik Lingkungan yang dengan tabah mengajari penulis proses penghitungan bakteri beserta berbagai prosedur sebelum dan setelahnya, **Pak Edi** karyawan Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan yang sangat terbuka terbuka terhadap pertanyaan dan permintaan pengujian penulis, **Mbak Iis** karyawan Laboratorium SEM dan XRD Jurusan Teknik Material dan Metalurgi yang telah mengurus semua sampel untuk uji XRD, **Pak Hadi dan Bu Ambar** karyawan Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi Universitas Airlangga yang telah sangat membantu pada proses pengembangbiakan bakteri, serta **Pak Endang, Mbak Sri, Pak Agus, Mbah No dan semua karyawan Jurusan Teknik Mesin** yang selalu memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.
6. Untuk **Iqo dan Dewi**, teman seperjuangan tugas akhir, teman galau, teman hidup. **Iqo**, *all things must ended happily, if it is not happy, it means that is not the end*, kamu kudu semangat. **Dews**, kamu satu-satunya harapan kita buat menggapai mimpi itu, hihi.
7. Untuk **Zahra, Esthi dan Mas Rio**, penasehat luar biasa yang selalu mampu menjawab pertanyaan ajaib penulis. **Zahra**, kamu emang orang paling sangar.

8. Untuk **Dea, Nafi, Rury, Mbak Nava**, terima kasih atas kepercayaan yang saling kita berikan. *I do love you all, gals. See you on top.*
9. Untuk **Iis, Nindya ‘mbah’, dan Dhenok ‘mak’**, temen-temen keren dari CITE membs. Dan semua CITE MEMBER, terima kasih atas dukungan dan perhatiannya. **Makembek**, yang akhirnya lulus bareng di 112.
10. Untuk **Mbak Pei dan Amina** yang luar biasa membuatku terharu atas dukungan yang diberikan, **Akmal, Huda dan Pras**, yang berjanji mengantar ke cepu untuk mengambil *crude oil*, tapi janji Akmal dan Pras memang hanyalah janji, hahaha. Dan untuk kesayangan **Tante Wilda, Farroh, Tika, Amik, Kak Hasyim, Kak Tyan, Yusro dan Yan Azmi** yang memberikan lebih dari sejuta cerita, cinta, dan pelajaran. *I love you, Merah Putih.*
11. Untuk rekan kerja terbaik, **Endry, Anas, dan Erni** yang bertahan berkerja bersama dengan penulis di PSDM HMM selama satu tahun.
12. Untuk semua **Warga Lab Metalurgi**, terutama sesama pejuang tugas akhir, **Acol, Endry, Andik, Sabil, Neva, Azhar, Mas Yosef**, terima kasih atas dukungan, semangat, serta keriwuhan yang selalu terjadi.
13. Keluarga besar **M53** dan teman-teman di mesin dan ITS atas kebahagiaan dan pelajaran yang diberikan.
14. Untuk pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas saran, doa, dan semangatnya.

Penulis sadar bahwa penulisan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix

### **BAB I : PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

2.1 Tinjauan Pustaka .....	3
2.2 Dasar Teori .....	5
2.1.1 Baja .....	5
2.1.2 Korosi .....	5
2.2.1.1 Definisi .....	5
2.2.1.2 Korosi Basah .....	6
2.2.1.3 Aspek-Aspek Korosi .....	9
2.2.1.4 Bentuk-Bentuk Korosi .....	13
2.2.1.5 Produk Korosi .....	15
2.2.2 <i>Microbiological Influenced Corrosion</i> .....	16
2.2.3 Bakteri Pereduksi Sulfat .....	17
2.2.4 Minyak mentah .....	21

### **BAB III : METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	23
-----------------------------------	----

3.2	Peralatan Penelitian .....	24
3.2.1	Peralatan Pembuatan Media .....	24
3.2.2	Peralatan Pengkondisian .....	25
3.2.3	Peralatan Pengujian .....	25
3.2.4	Peralatan Pendukung .....	25
3.3	Persiapan Spesimen .....	26
3.4	Pengembangbiakan Bakteri Pereduksi Sulfat .....	27
3.4.1	Pembuatan Media Bakteri .....	27
3.4.2	Pengembangbiakan Bakteri .....	28
3.5	Pengambilan Data Awal .....	29
3.5.1	Pengambilan Data Awal Spesimen .....	29
3.5.2	Pengambilan Data Awal Media .....	29
3.6	Pengkondisian Spesimen dalam Media .....	30
3.6.1	Media Uji 50 ml <i>Crude oil</i> , 10 ml SRB, anaerob (10 Anaerob) .....	30
3.6.2	Media Uji 30 ml <i>Crude oil</i> , 30 ml SRB, anaerob (30 Anaerob) .....	32
3.6.3	Media Uji 30 ml <i>Crude oil</i> , 30 ml SRB, aerob (30 Aerob) .....	34
3.6.4	Media Uji 60 ml <i>Crude oil</i> , anaerob (CO Anaerob) ..	35
3.6.5	Media Uji 60 ml <i>Crude oil</i> , aerob (CO Aerob) .....	37
3.7	Pengambilan Data Secara Periodik .....	38
3.7.1	Pengamatan Visual Spesimen .....	39
3.7.2	Pengamatan Jumlah Korosi Sumuran .....	40
3.7.3	Pengamatan Penampang Melintang pada Titik yang Diindikasikan Mengalami Korosi Sumuran .....	40
3.7.4	Uji Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen .....	41
3.7.5	Perhitungan Jumlah Bakteri .....	41

#### **BAB IV : DATA DAN ANALISA**

4.1	Pengamatan Visual Spesimen .....	43
4.1.1	Data Pengamatan Visual Spesimen .....	43
4.1.2	Pembahasan Data Pengamatan Visual Spesimen .....	66
4.2	Perhitungan Jumlah Korosi Sumuran .....	67

4.1.1 Data Perhitungan Jumlah Korosi Sumuran .....	67
4.1.2 Pembahasan Data Perhitungan Jumlah Korosi Sumuran .....	68
4.3 Pengukuran Kedalaman Korosi Sumuran .....	70
4.1.1 Data Pengukuran Kedalaman Korosi Sumuran .....	71
4.1.2 Pembahasan Data Pengukuran Kedalaman Korosi Sumuran .....	73
4.4 Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen .....	74
4.1.1 Data Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen .....	75
4.1.2 Pembahasan Data Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen .....	76
4.5 Jumlah Bakteri .....	78
4.1.1 Data Jumlah Bakteri .....	78
4.1.2 Pembahasan Data Jumlah Bakteri .....	79
4.6 Sintesa dan Analisa .....	81

#### **BAB IV : PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	83
5.2 Saran .....	84

#### **LAMPIRAN**

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **BIOGRAFI PENULIS**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Unsur penyusun baja karbon rendah JIS G3101 ( <i>JIS Handbook</i> , 1970) .....	5
Tabel 2.2	Deret EMF ( <i>Electro Motive Force</i> ) (Jones, 1996) ...	8
Tabel 2.3	Senyawa kimia produk korosi besi dan kelarutannya dalam air dingin (Lide, 1991 ;Linke, 1958) .....	15
Tabel 2.4	Mikroorganisme penyebab <i>Microbiological Influenced Corrosion</i> (Jones, 1996) .....	17
Tabel 2.5	Komponen Penyusun <i>Crude Oil</i> (Jentsch, 1975) ....	21
Tabel 3.1	Rincian penggunaan spesimen pada penelitian .....	26
Tabel 3.2	Langkah pengkondisian spesimen pada media uji 10 anaerob .....	29
Tabel 3.3	Langkah pengkondisian spesimen pada media uji 30 anaerob .....	31
Tabel 3.4	Langkah pengkondisian spesimen pada media uji 30 aerob .....	33
Tabel 3.5	Langkah pengkondisian spesimen pada media uji CO anaerob .....	34
Tabel 3.6	Langkah pengkondisian spesimen pada media uji CO aerob .....	36
Tabel 3.7	Data pengamatan visual spesimen .....	38
Tabel 3.8	Data pengamatan jumlah korosi sumuran .....	39
Tabel 3.9	Kedalaman <i>pitting corrosion</i> pada spesimen .....	39
Tabel 3.10	Senyawa produk korosi hasil pengkondisian di masing-masing media .....	40
Tabel 3.11	Jumlah bakteri pada permukaan spesimen .....	41
Tabel 4.1	Data pengamatan visual spesimen setelah pengkondisian di media <i>crude oil</i> dengan penambahan SRB .....	43
Tabel 4.2	Data pengamatan visual spesimen di media dengan penambahan SRB .....	59
Tabel 4.3	Data pengamatan jumlah korosi sumuran .....	66



Tabel 4.4	Data pengukuran kedalaman korosi sumuran spesimen .....	70
Tabel 4.5	Data Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Logam .....	75
Tabel 4.6	Produk korosi pada lingkungan hidroksida, sulfat, dan sulfida .....	77
Tabel 4.7	Data perhitungan jumlah bakteri pada media awal .....	78
Tabel 4.7	Data perhitungan jumlah bakteri setelah pengkondisian .....	78

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sel korosi basah .....	6
Gambar 2.2 Pengaruh temperatur pada korosi baja di air yang mengandung oksigen terlarut (Jones, 1996) .....	10
Gambar 2.3 Pengaruh oksigen terlarut pada korosi besi di air yang mengandung 165 ppm $\text{CaCl}_2$ (Jones,1996) .....	11
Gambar 2.4 Pengaruh konsentrasi NaCl pada pada korosi besi di larutan yang teraerasi (Jones, 1996) .....	11
Gambar 2.5 Bentuk-bentuk korosi (Jones, 1996) .....	14
Gambar 2.6 Bakteri pereduksi sulfat ( <i>Desulfovibrio desulfuricans</i> ) dilihat melalui SEM dengan perbesaran 30.000 kali ( <i>Pacific Northwest National Laboratory, 2009</i> ) .....	18
Gambar 2.7 Siklus sulfur, peran bakteri dalam mengoksidasi sulfur menjadisulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan mereduksi sulfat menjadi sulfida ( $\text{S}^{2-}$ ) ( <i>ASM Handbook Vol.13A, 2003</i> ) .....	19
Gambar 2.8 Skema proses korosi pada baja akibat bakteri pereduksi sulfat, hidrogen digunakan oleh SRB untuk membentuk FeS dan $\text{H}_2\text{S}$ ( <i>ASM Handbook Vol.13A, 2003</i> ) .....	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	22
Gambar 3.2 Dimensi spesimen .....	25
Gambar 4.1 Permukaan spesimen sebelum pengkondisian, tidak terdapat cacat pada permukaan .....	42
Gambar 4.2 Grafik jumlah korosi sumuran pada permukaan atas dan permukaan bawah spesimen sebagai fungsi waktu .....	67
Gambar 4.3 Grafik jumlah korosi sumuran sebagai fungsi waktu .....	68
Gambar 4.4 Grafik kedalaman korosi sumuran sebagai fungsi waktu .....	73
Gambar 4.5 Grafik perbandingan jumlah bakteri sebagai fungsi waktu .....	80

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Korosi adalah peristiwa yang terjadi secara alami. Korosi dapat menimbulkan akibat secara langsung maupun tidak langsung terhadap manusia. Akibat yang ditimbulkan korosi berpengaruh terhadap individu, kelompok, dan masyarakat. Akibat langsung yang ditimbulkan oleh korosi adalah kerusakan yang terjadi pada sarana umum dan barang pribadi. Sedangkan secara tidak langsung, korosi menyebabkan biaya tambahan untuk penanggulangan dan perawatan peralatan, baik dari produsen maupun konsumen (ASM International, 2000).

Korosi dapat terjadi di berbagai tempat dengan media yang bermacam-macam. Media tersebut adalah air, larutan asam, larutan sulfur, udara lembab, tanah, dan lingkungan yang mengandung mikroorganisme. Penelitian mengenai korosi yang diperparah oleh kehadiran mikroorganisme sudah pernah dilakukan sebelum ini, yang memperoleh hasil bahwa mikroorganisme dapat memperparah korosi yang terjadi pada logam. Muthukumar et al. (1978) mengatakan bahwa mikroorganisme dapat meningkatkan laju korosi pada logam akibat proses metabolisme bakteri tersebut.

Korosi yang diperparah oleh mikroorganisme terjadi di media yang menunjang proses metabolisme bakteri tersebut, salah satunya adalah minyak mentah (*crude oil*). Mikroorganisme yang memiliki pengaruh terbesar terhadap korosi logam pada industri minyak dan gas adalah *Sulphate Reducing Bacteria* (ASM Handbook Vol.13, 1987). Lebih dari 80% komponen-komponen yang digunakan di industri minyak dan gas menggunakan baja karbon (ASM Handbook Vol.13, 1987), sehingga jika korosi yang diperparah oleh kehadiran bakteri terjadi pada jangka waktu yang lama, maka logam akan mengalami kerusakan.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian dari latar belakang, permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* pada korosi baja karbon rendah JIS G3101 Grade SS400 di media *crude oil* aerob dan anaerob.

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian dan pembahasan masalah ini tidak meluas, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Spesimen diasumsikan memiliki komposisi kimia yang sama.
2. Perubahan temperatur saat pengkondisian diasumsikan tidak berpengaruh terhadap korosi yang terjadi.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* pada korosi baja karbon rendah JIS G3101 Grade SS400 di media *crude oil* aerob dan anaerob.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat berupa pengetahuan korosi pada baja karbon rendah JIS G3101 Grade SS400 dengan penambahan bakteri pereduksi sulfat pada lingkungan aerob dan anaerob sebagai upaya mengontrol korosi yang terjadi di lingkungan *crude oil*. Selain itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan pemilihan material yang akan digunakan di lingkungan *crude oil*.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Brenda dan Jason (2009) melakukan penelitian mengenai laju korosi yang diperparah oleh kehadiran bakteri pada beberapa logam di *natural seawater* selama 30 hari. Hasil yang didapat berupa tren laju korosi logam yang rata-rata meningkat secara signifikan mulai dari 0 sampai dengan 10 hari, setelah itu laju korosi cenderung konstan sampai dengan 30 hari. Logam yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pt, Au, Pd, Cr, Ti, Ni, UNSF W400, Banitro 20, 254 SMO, Monit, 964 UN, Song SM60, SAF 2205, dan 70/30 CuNi. Logam yang mengalami laju korosi yang paling besar dan paling rentan terhadap korosi adalah platinum (Pt).

Kanematsu (2013) melakukan penelitian korosi akibat *biofilm*, dimana *biofilm* terjadi akibat kehadiran bakteri di permukaan spesimen. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon SS400 yang sudah dikenai perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *plasma gas condensation*. Untuk membuat *biofilm*, dilakukan Helicon Sputtering (HS) dan Nano Particles Cluster (NPC) pada permukaan spesimen. Identifikasi karakteristik korosi dilakukan dengan menggunakan siklus *rottammetry*. Hasil yang diperoleh berupa kesimpulan bahwa *pitting corrosion* terjadi paling parah pada baja karbon. Selain itu, material yang dikenai perlakuan panas memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada material yang tidak dikenai perlakuan panas.

Secara lebih spesifik, penelitian terhadap korosi yang diperparah oleh *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* dilakukan oleh Didi (2011). Penelitian dilakukan menggunakan media berupa *crude oil* murni dan penambahan SRB. Pada penelitian ini, media spesimen dikondisikan di lingkungan aerob dan anaerob. Pengkondisian dilakukan selama 16 hari dengan pengambilan

data pada setiap 4 hari. Hasil yang didapat dari penelitian ini mengungkapkan bahwa korosi yang terjadi pada baja karbon rendah JIS G3101 SS400 adalah korosi sumuran (*pitting corrosion*). Korosi sumuran yang paling parah terjadi di media *crude oil* dengan penambahan SRB yang dikondisikan di lingkungan anaerob.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Baja

Baja merupakan paduan antara besi dan karbon dengan kandungan karbon maksimum 2% berat. Menurut unsur penyusunnya, baja dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja paduan (*alloyed steel*). Menurut kandungan karbonnya, baja diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Baja karbon rendah ( $C < 0,3\%$  berat)
2. Baja karbon menengah ( $0,3\% \text{ berat} < C < 0,76\% \text{ berat}$ )
3. Baja karbon tinggi ( $C > 0,76\% \text{ berat}$ )

Baja karbon banyak digunakan di dunia industri, hampir 80% peralatan dan komponen yang digunakan pada industri minyak dan gas adalah baja karbon (ASM Handbook Vol.13, 1987). Salah satu jenis baja karbon yang sering digunakan sebagai baja struktur adalah baja karbon rendah JIS G3101 grade SS400, yang memiliki kandungan karbon maksimal 0,25% berat. Baja jenis ini memiliki ketahanan korosi yang rendah pada lingkungan yang asam namun biasanya digunakan pada industri minyak dan gas. Adapun unsur-unsur penyusun baja karbon rendah JIS G3101 grade SS400 menurut *JIS Handbook* (1970) tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Unsur penyusun baja karbon rendah JIS G3101 (*JIS Handbook*, 1970)

Klasifikasi	Notasi	Komposisi Kimia (% maks)		Aplikasi
		P	S	
Class 2	SS 41	0,05	0,05	Baja pelat, baja bentukan, baja lembaran.

### 2.2.2 Korosi

#### 2.2.2.1 Definisi

Korosi adalah perusakan material karena bereaksi dengan lingkungannya (Fontana, 1986). Korosi merupakan fenomena alamiah yang tidak dapat dicegah, namun dapat dikendalikan.

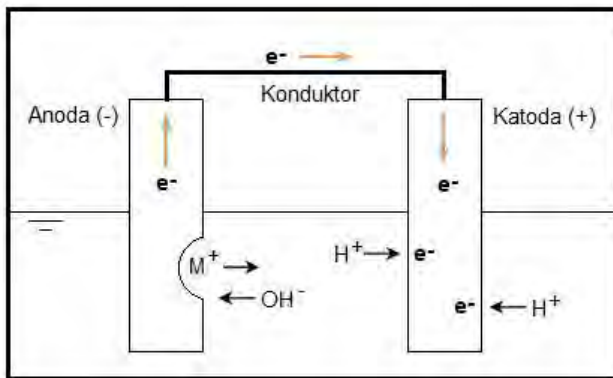


Contoh kasus korosi yang sering terjadi adalah perkaratan pada besi.

Aspek-aspek korosi meliputi material, lingkungan, dan reaksi. Menurut jenis reaksi dan lingkungan terjadinya, korosi diklasifikasikan menjadi 2 kelompok, yaitu korosi basah (*Aqueous Corrosion*) dan korosi kering (*Dry Corrosion*). Korosi kering adalah proses korosi yang terjadi melalui reaksi kimia secara murni tanpa melibatkan larutan elektrolit. Korosi kering sering terjadi di lingkungan yang memiliki temperatur tinggi (*High Temperature Corrosion*). Sedangkan korosi basah adalah proses korosi yang terjadi di lingkungan yang mengandung air.

### 2.2.2.2 Korosi Basah

Korosi basah terjadi jika terdapat dua elektroda yang memiliki perbedaan potensial terhubung secara elektrolit dan elektronik. Ilustrasi dari sel korosi basah terdapat pada gambar 2.1 berikut.

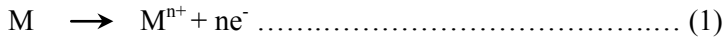


Gambar 2.1 Sel korosi basah

Adapun pengertian dari masing-masing faktor yang berada pada gambar 2.1 adalah sebagai berikut.

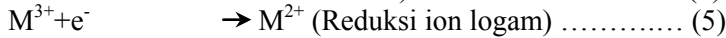
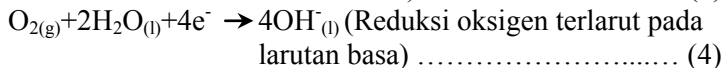
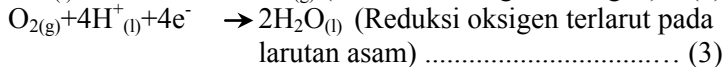
- Anoda :
  1. Elektroda dimana elektron bergerak meninggalkannya menuju elektrolit.

2. Elektroda yang mengalami reaksi oksidasi. Reaksi oksidasi adalah proses pelepasan elektron dari atom sehingga meningkatkan elektron valensi. Adapun rumus umum reaksi oksidasi adalah :



• Katoda :

1. Elektroda yang dituju oleh elektron dari elektrolit.
2. Elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi. Reaksi reduksi adalah proses pengikatan elektron dari atom atau ion sehingga mengurangi elektron valensi, seperti :



• Elektrolit :

Elektrolit adalah larutan yang dapat menghantarkan muatan, baik muatan positif maupun muatan negatif.

• Konduktor :

Konduktor adalah logam yang dapat menghantarkan listrik.

Perbedaan potensial pada logam diketahui dari selisih nilai potensial standar logam. Setiap logam memiliki potensial standar yang berbeda. Potensial standar adalah kecenderungan suatu elektroda untuk menangkap atau melepaskan elektron. Potensial standar elektroda diukur terhadap potensial standar elektroda Hidrogen yang diukur pada temperatur 25° C, tekanan 1 atm, dan elektrolit yang mengandung ion logam dengan aktivitas = 1. Aktivitas = 1 yaitu terdapat 1 gram mol ion dalam 1 liter elektrolit. Tabel 2.2 merupakan nilai potensial standar beberapa logam.

Tabel 2.2 Deret EMF (*Electro Motive Force*) (Jones, 1996)

	Reaction	Standard Potential, $e^{\circ}$ (volts vs. SHE)
Noble	$Au^{3+} + 3e^{-} = Au$	+1.498
	$Cl_2 + 2e^{-} = 2Cl^{-}$	+1.358
	$O_2 + 4H^{+} + 4e^{-} = 2H_2O$ (pH 0)	+1.229
	$Pt^{2+} + 2e^{-} = Pt$	+1.2
	$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} = 4OH^{-}$ (pH 7) <sup>a</sup>	+0.82
	$Ag^{+} + e^{-} = Ag$	+0.799
	$Hg_2^{2+} + 2e^{-} = 2Hg$	+0.788
	$Fe^{3+} + e^{-} = Fe^{2+}$	+0.771
	$O_2 + 2H_2O + 4e^{-} = 4OH^{-}$ (pH 14)	+0.401
	$Cu^{2+} + 2e^{-} = Cu$	+0.337
	$Sn^{4+} + 2e^{-} = Sn^{2+}$	+0.15
	$2H^{+} + 2e^{-} = H_2$	0.000
	$Pb^{2+} + 2e^{-} = Pb$	-0.126
	$Sn^{2+} + 2e^{-} = Sn$	-0.136
	$Ni^{2+} + 2e^{-} = Ni$	-0.250
	$Co^{2+} + 2e^{-} = Co$	-0.277
	$Cd^{2+} + 2e^{-} = Cd$	-0.403
	$Fe^{2+} + 2e^{-} = Fe$	-0.440
	$Cr^{3+} + 3e^{-} = Cr$	-0.744
	$Zn^{2+} + 2e^{-} = Zn$	-0.763
$2H_2O + 2e^{-} = H_2 + 2OH^{-}$	-0.828	
$Al^{3+} + 3e^{-} = Al$	-1.662	
$Mg^{2+} + 2e^{-} = Mg$	-2.363	
$Na^{+} + e^{-} = Na$	-2.714	
Active	$K^{+} + e^{-} = K$	-2.925

Jika terdapat 2 elektroda yang terhubung secara elektronik, maka elektroda yang memiliki nilai potensial standar lebih besar berperan sebagai katoda dan elektroda yang memiliki nilai potensial standar lebih kecil berperan sebagai anoda. Elektroda yang memiliki nilai potensial yang semakin besar, akan semakin tahan terhadap korosi.

### **2.2.2.3 Aspek-Aspek Korosi**

Proses korosi meliputi 3 aspek, yaitu aspek material, lingkungan, dan reaksi. Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing aspek tersebut.

#### **A. Aspek Material**

Korosi terjadi akibat adanya perbedaan potensial pada 2 elektroda yang terhubung secara elektronik. Akan tetapi, perbedaan potensial juga dapat terjadi pada satu material (logam), yaitu pada hal berikut :

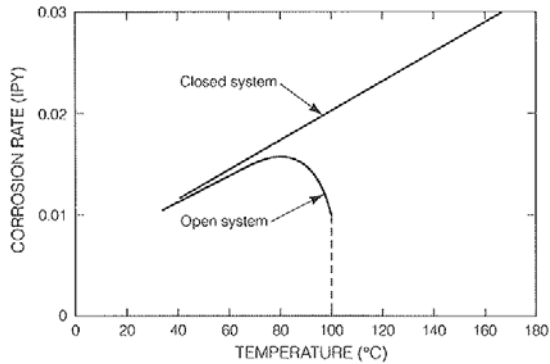
- **Perbedaan Fasa**  
Perbedaan fasa pada logam menimbulkan beda potensial antar fasa. Apabila logam terhubung secara elektrolit, maka korosi dapat terjadi.
- **Butir – Batas Butir**  
Daerah butir dan batas butir kristal memiliki nilai potensial yang berbeda. Batas butir kristal memiliki nilai potensial yang lebih rendah daripada butir kristal. Hal ini mengakibatkan daerah batas butir kristal lebih rentan terhadap korosi.
- **Adanya tegangan sisa**  
Adanya tegangan sisa pada logam mengakibatkan munculnya daerah dengan konsentrasi tegangan yang tinggi. Daerah dengan konsentrasi tegangan yang tinggi memiliki nilai potensial yang berbeda dengan daerah tanpa konsentrasi tegangan, sehingga dapat menginisiasi terjadinya korosi.

#### **B. Aspek Lingkungan**

Logam yang berinteraksi dengan lingkungan korosif dapat menginisiasi atau memperparah proses korosi. Berikut ini adalah faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi proses korosi.

##### **1. Temperatur**

Kenaikan temperatur meningkatkan laju korosi. Untuk baja, peningkatan laju korosi ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pengaruh temperatur pada korosi baja di air yang mengandung oksigen terlarut (Jones, 1996)

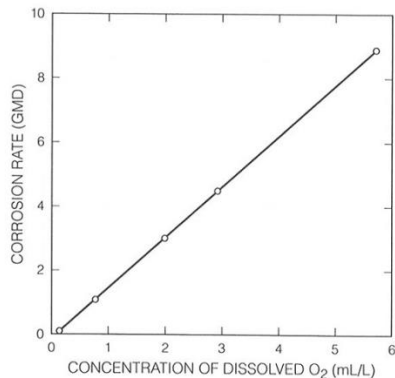
Pada lingkungan yang tertutup, laju korosi meningkat saat temperatur mengalami kenaikan. Sedangkan pada lingkungan yang terpapar oleh sinar matahari langsung, laju korosi meningkat hingga temperatur mencapai 80°C, namun setelah itu laju korosi turun secara signifikan hingga 100°C. Hal itu disebabkan karena oksigen mengalami penguapan pada saat temperatur mengalami kenaikan, sehingga reaksi oksidasi menurun.

## 2. pH

pH menyatakan tingkat keasaman suatu larutan. pH suatu larutan mempengaruhi tingkat korosi yang terjadi. Korosi sering terjadi pada material yang berada pada lingkungan asam, yaitu pada  $\text{pH} < 7$ . Sedangkan pada  $\text{pH} > 7$ , laju korosi cenderung konstan bahkan menurun.

## 3. Kandungan Oksidator

Logam yang berada di larutan dengan oksigen terlarut akan mengalami peningkatan laju korosi ketika larutan teragitasi. Hubungan antara oksigen terlarut dan laju korosi ditunjukkan oleh gambar 2.3.

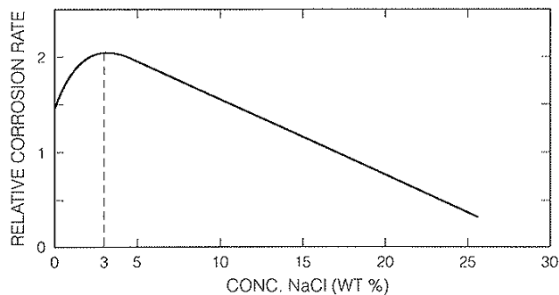


Gambar 2.3 Pengaruh oksigen terlarut pada korosi besi di air yang mengandung 165 ppm  $\text{CaCl}_2$  (Jones, 1996)

Pada gambar 2.3, grafik menunjukkan peningkatan jumlah oksigen terlarut berbanding lurus dengan laju korosi.

#### 4. Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan mempengaruhi konduktivitas larutan pada proses korosi sehingga dapat meningkatkan atau menurunkan laju korosi. Pengaruh konsentrasi larutan pada korosi besi di larutan NaCl terdapat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pengaruh konsentrasi NaCl pada korosi besi di larutan yang teraerasi (Jones, 1996)

Kenaikan konsentrasi NaCl hingga 3% meningkatkan laju korosi, sedangkan kenaikan NaCl di atas 3% justru menurunkan laju korosi pada besi.

### 5. Kecepatan Aliran Fluida

Elektrolit yang mengalir dengan kecepatan rendah bahkan diam berpotensi untuk menghasilkan stagnasi elektrolit sehingga dapat menyebabkan korosi celah. Sedangkan elektrolit yang mengalir dengan kecepatan tinggi dapat menyebabkan korosi erosi apabila elektrolit tersebut mengandung partikel abrasif. Partikel tersebut dapat mengikis lapisan permukaan atau lapisan *coating* logam.

### 6. Mikroorganisme

Mikroorganisme dapat mempengaruhi korosi secara tidak langsung. Hasil metabolisme mikroorganisme membuat lingkungan menjadi korosif, sehingga memperparah korosi yang sudah terjadi.

### C. Aspek Reaksi

Reaksi yang terjadi pada proses korosi dapat dilihat dari dua sudut pandang, yaitu reaksi elektrokimia dan reaksi termodinamika. Reaksi elektrokimia pada korosi terjadi jika terdapat dua elektroda yang memiliki beda potensial terhubung secara elektronik dan elektrolit. Reaksi termodinamika pada korosi adalah perubahan energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ ) dari keadaan energi bebas yang lebih tinggi menuju energi bebas yang lebih rendah. Energi bebas Gibbs adalah energi yang dibutuhkan untuk melakukan kerja/ reaksi. Energi bebas Gibbs sulit diukur, namun perubahannya dapat dihitung dengan persamaan (7).

$$\Delta G = -n \cdot E \cdot F \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

$\Delta G$  = perubahan energi bebas Gibbs (*Gibbs free energy*)(Joule)

n = jumlah elektron yang dibutuhkan, per mol produk

F = bilangan Faraday (96500 Coloumb/ekuivalen)

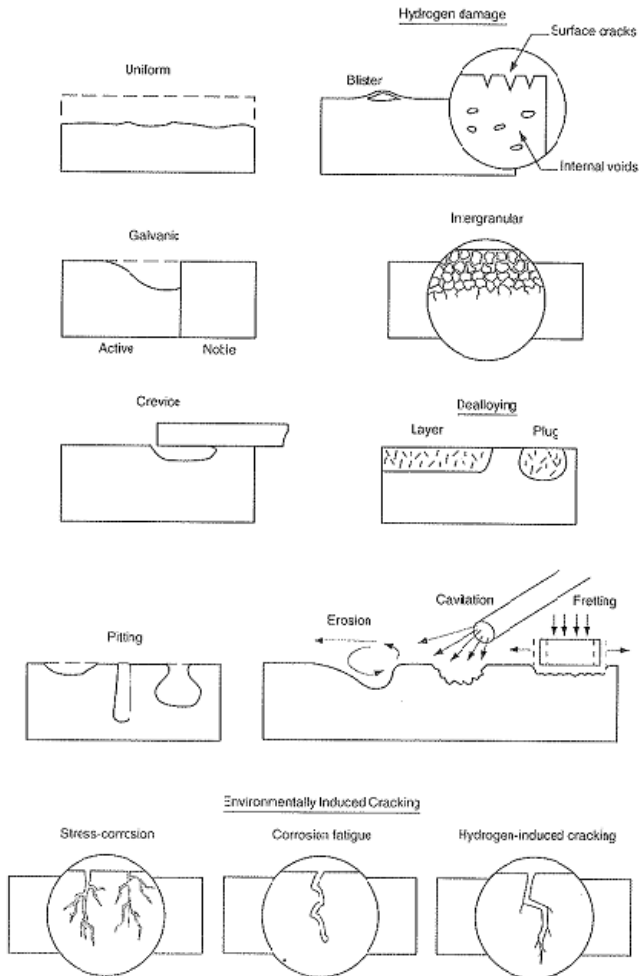
$E = E^{\circ}$  = potensial elektroda pada kondisi standar (Volt)

#### 2.2.2.4 Bentuk-Bentuk Korosi

Berdasarkan bentuknya, korosi diklasifikasikan menjadi 9 kelompok (Jones, 1996), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5. Bentuk-bentuk korosi tersebut adalah:

- Korosi Merata (*Uniform Corrosion*)
- Korosi Lokal, yaitu :
  1. Korosi Galvanik (*Galvanic Corrosion*)
  2. Korosi Celah (*Crevice Corrosion*)
  3. Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*)
  4. *Environmentally Induced Cracking*
  5. Korosi Batas Butir (*Intergranular Corrosion*)
  6. *Hydrogen Damage*
  7. *Dealloying*
  8. Korosi Erosi (*Erosion Corrosion*)





Gambar 2.5 Bentuk-bentuk korosi (Jones, 1996)

Korosi merata adalah peristiwa korosi yang menyerang seluruh permukaan logam yang mengalami kontak dengan media korosif. Korosi merata merupakan jenis korosi yang mudah dikenali. Korosi lokal adalah korosi yang menyerang bagian

tertentu pada logam. Bentuk korosi lokal tergantung oleh interaksi antara logam dengan lingkungannya. Korosi lokal lebih sulit dikendalikan, sehingga dapat menimbulkan kerusakan lokal pada logam.

### 2.2.2.5 Produk Korosi

Proses korosi akan menghasilkan produk korosi yang berbeda bergantung pada material dan media korosif. Produk korosi biasanya membentuk lapisan yang berada pada permukaan logam. Pada baja, produk korosi yang dapat terbentuk ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Senyawa kimia produk korosi besi dan kelarutannya dalam air dingin (Lide, 1991 ; Linke, 1958)

	Species	Solubility in cold water (g/100 cm <sup>3</sup> )
Oxides	FeO	i.
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	i.
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · x H <sub>2</sub> O	i.
	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	i.
Hydroxides	Fe(OH) <sub>2</sub>	0.00015
	Fe(OH) <sub>3</sub>	i. [21]
Chlorides	FeCl <sub>2</sub>	64.4
	FeCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	160.1
	FeCl <sub>3</sub>	74.4
	FeCl <sub>3</sub> · 5/2H <sub>2</sub> O	v. s.
	FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	91.9
Sulphates	FeSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	sl. s.
	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	sl. s.
	FeSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	15.65
	FeSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	s.
	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	440
Sulfides	FeS <sub>2</sub>	0.00049
	FeS	0.00062
	Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	sl. d.
Carbonates	FeCO <sub>3</sub>	0.0067
	FeCO <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	sl. s

i . = insoluble; s. = soluble; v.s . = very soluble; sl. s. = slightly soluble; sl. d. = slight decomposition.

### **2.2.3 *Microbiological Influenced Corrosion***

*Microbiological Influenced Corrosion* adalah korosi yang dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme. Secara umum, mikroorganisme diklasifikasikan berdasarkan kemiripan bentuk dan cara hidupnya menjadi 5 kelompok, yaitu bakteri, jamur, alga, virus, dan protozoa. Berdasarkan kemampuan berkembangnya, mikroorganisme dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu mikroorganisme aerob dan mikroorganisme anaerob. Organisme aerob memerlukan oksigen untuk melakukan proses metabolisme, sehingga organisme aerob hanya dapat tumbuh dan berkembang di lingkungan yang mengandung cukup oksigen. Organisme anaerob adalah organisme yang tidak memerlukan oksigen untuk melakukan proses metabolisme, sehingga organisme anaerob dapat hidup dan berkembang di lingkungan yang memiliki kandungan oksigen sedikit, bahkan tanpa oksigen (Fontana, 1986).

Tidak semua jenis mikroorganisme berperan dalam proses korosi. Tabel 2.4 menunjukkan jenis mikroorganisme yang berperan terhadap proses korosi beserta lingkungan tempat tinggalnya dan logam yang diserang.

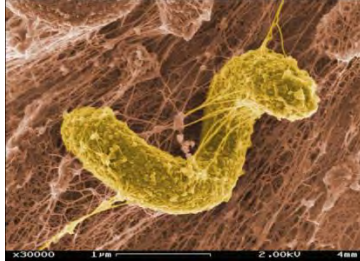
Tabel 2.4 Mikroorganisme penyebab *Microbiological Influenced Corrosion* (Jones, 1996)

Genus or Species	pH Range	Temperature Range °C	Oxygen Requirement	Metals Affected	Action
Bacteria					
<i>Desulfovibrio</i>					
Best known: <i>D. desulfuricans</i> .....	4-8	10-40	Anaerobic	Iron and steel, stainless steels, aluminum zinc, copper alloys	Utilize hydrogen in reducing $\text{SO}_4^{2-}$ to $\text{S}^{2-}$ and $\text{H}_2\text{S}$ ; promote formation of sulfide films
<i>Desulfotomaculum</i>					
Best known: <i>D. nigrificans</i> (also known as <i>Clostridium</i> ) .....	6-8	10-40 (some 45-75)	Anaerobic	Iron and steel, stainless steels	Reduce $\text{SO}_4^{2-}$ to $\text{S}^{2-}$ and $\text{H}_2\text{S}$ (spore formers)
<i>Desulfomonas</i> .....		10-40	Anaerobic	Iron and steel	Reduce $\text{SO}_4^{2-}$ to $\text{S}^{2-}$ and $\text{H}_2\text{S}$
<i>Thiobacillus thiooxidans</i> .....	0.5-8	10-40	Aerobic	Iron and steel, copper alloys, concrete	Oxidizes sulfur and sulfides to form $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; damages protective coatings
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> .....	1-7	10-40	Aerobic	Iron and steel	Oxidizes ferrous ( $\text{Fe}^{2+}$ ) to ferric ( $\text{Fe}^{3+}$ )
<i>Gallionella</i> .....	7-10	20-40	Aerobic	Iron and steel, stainless steels	Oxidizes ferrous (and manganous) to ferric (and manganic); promotes tubercule formation
<i>Sphaerotilus</i> .....	7-10	20-40	Aerobic	Iron and steel, stainless steels	Oxidizes ferrous (and manganous) to ferric (and manganic); promotes tubercule formation
<i>S. natans</i> .....				Aluminum alloys	
<i>Pseudomonas</i> .....	4-9	20-40	Aerobic	Iron and steel, stainless steels	Some strains can reduce $\text{Fe}^{3+}$ to $\text{Fe}^{2+}$
<i>P. aeruginosa</i> .....	4-8	20-40	Aerobic	Aluminum alloys	
Fungi					
<i>Cladosporium resinae</i> .....	3-7	10-45 (best at 30-35)		Aluminum alloys	Produces organic acids in metabolizing certain fuel constituents

### 2.2.3 Bakteri Pereduksi Sulfat

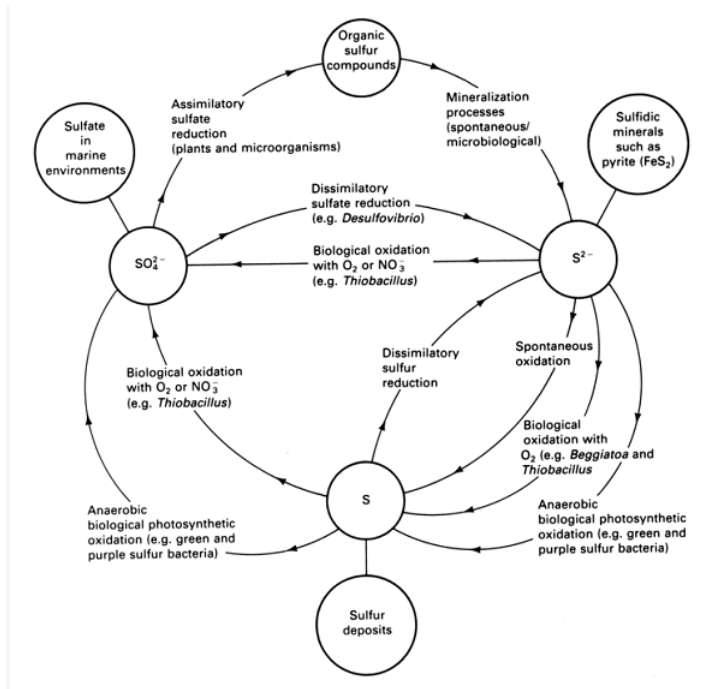
Bakteri pereduksi sulfat (Gambar 2.6) atau *Sulphate Reducing Bacteria (SRB)* adalah bakteri yang dapat mengubah sulfat menjadi sulfid. SRB merupakan bakteri anaerob fakultatif, yaitu jenis bakteri yang mampu hidup dan berkembang di lingkungan yang mengandung sedikit oksigen bahkan tanpa

oksigen sama sekali. SRB yang berada pada kondisi aerob akan aktif dan berkembang biak ketika sudah berada di kondisi anaerob (Jones, 1996).



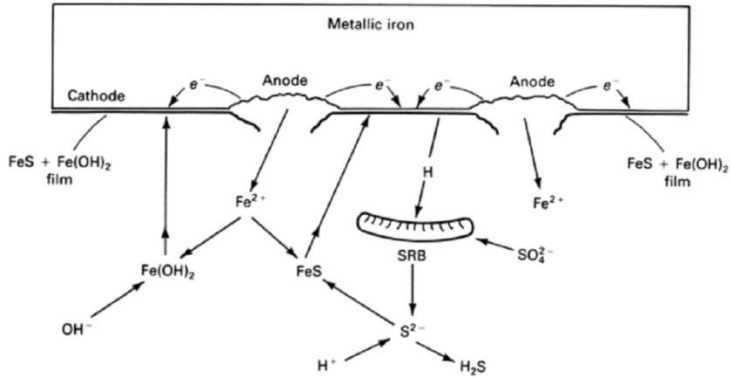
Gambar 2.6 Bakteri pereduksi sulfat (*Desulfovibrio desulfuricans*) dilihat melalui SEM dengan perbesaran 30.000 kali (*Pacific Northwest National Laboratory, 2009*)

Bakteri pereduksi sulfat mampu mengambil atom hidrogen bebas dan ion sulfat yang kemudian diubah menjadi ion sulfida, hal ini dapat dilihat pada siklus sulfur pada gambar 2.7.



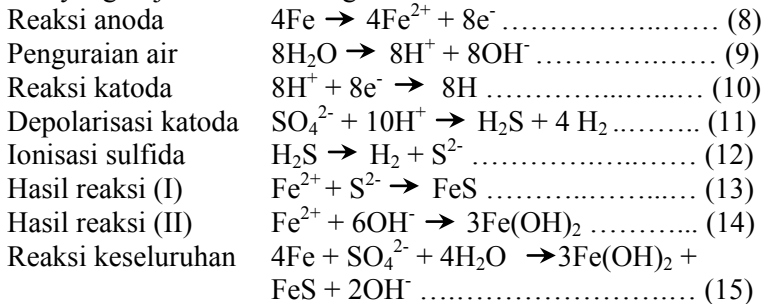
Gambar 2.7 Siklus sulfur, peran bakteri dalam mengoksidasi sulfur menjadi sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan mereduksi sulfat menjadi sulfida ( $\text{S}^{2-}$ ) (*ASM Handbook Vol.13A, 2003*)

Dari gambar 2.7 dapat dilihat bahwa selain bakteri pereduksi sulfat, ada beberapa jenis bakteri lain yang berperan dalam siklus sulfur, yaitu bakteri pereduksi sulfur dan bakteri pengoksidasi sulfur.



Gambar 2.8 Skema proses korosi pada baja akibat bakteri pereduksi sulfat, hidrogen digunakan oleh SRB untuk membentuk FeS dan H<sub>2</sub>S  
(ASM Handbook Vol.13A, 2003)

Skema korosi pada baja yang dipengaruhi oleh aktivitas bakteri pereduksi sulfat tertera pada gambar 2.8. Bakteri pereduksi sulfat mengoksidasi sulfur (S) yang terdapat di lingkungan menjadi sulfat sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Sulfat bereaksi dengan ion hidrogen menghasilkan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) yang kemudian mengalami ionisasi. Ion sulfida (S<sup>2-</sup>) diikat oleh ion Fe<sup>2+</sup> (hasil reaksi oksidasi) sehingga dihasilkan produk korosi berupa FeS. Produk korosi lain yang terbentuk adalah Fe(OH)<sub>2</sub> yang berasal dari reaksi antara ion Fe<sup>2+</sup> dan ion hidroksida (6OH<sup>-</sup>) dari proses penguraian air. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Minyak mentah dengan pH antara 4 hingga 8 merupakan salah satu lingkungan yang dapat menjadi media berkembang biakan bakteri pereduksi sulfat, karena SRB mampu tumbuh dan berkembang dengan baik pada media yang memiliki pH antara 4 hingga 8, dengan temperatur antara 10-40°C (*ASM Handbook Vol.13A*, 2003).

#### 2.2.4 Minyak Mentah

Minyak mentah merupakan hasil alamiah proses penguraian tumbuhan dan hewan selama jutaan tahun. Minyak mentah (*crude oil*) tersusun atas beberapa senyawa organik yang biasanya berbentuk hidrokarbon ( $C_nH_n$ ). Senyawa hidrokarbon adalah senyawa yang terdiri dari atom karbon (C) dan atom hidrogen (H) yang saling mengikat. Secara lebih spesifik, senyawa kimia penyusun *crude oil* terdiri dari beberapa komponen seperti yang tertera pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Komponen Penyusun *Crude oil* (Jentsch, 1975)

Komponen	Kandungan (% massa)
Karbon	84 – 87
Hidrogen dan Oksigen	12 – 14
Nitrogen dan Sulfur	1 – 2

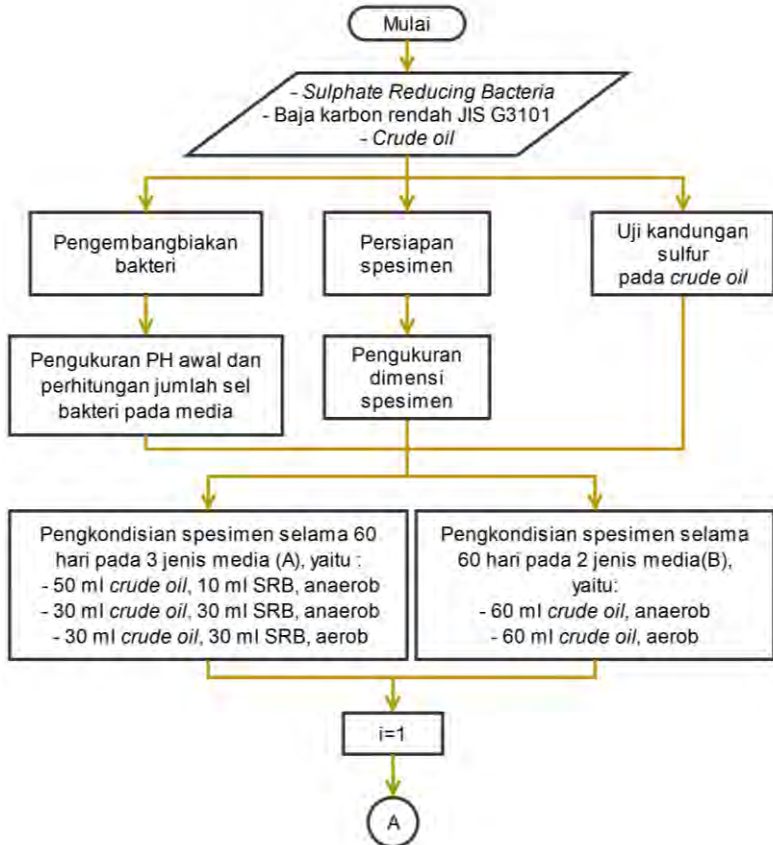
Kandungan sulfur pada setiap *crude oil* berbeda, dengan rentang nilai 0.1 - 5% berat *crude oil*. Begitu juga dengan kandungan logam yang terdapat di dalam *crude oil*, yang memiliki rentang nilai 0,01 - 0,04% dari berat *crude oil*.

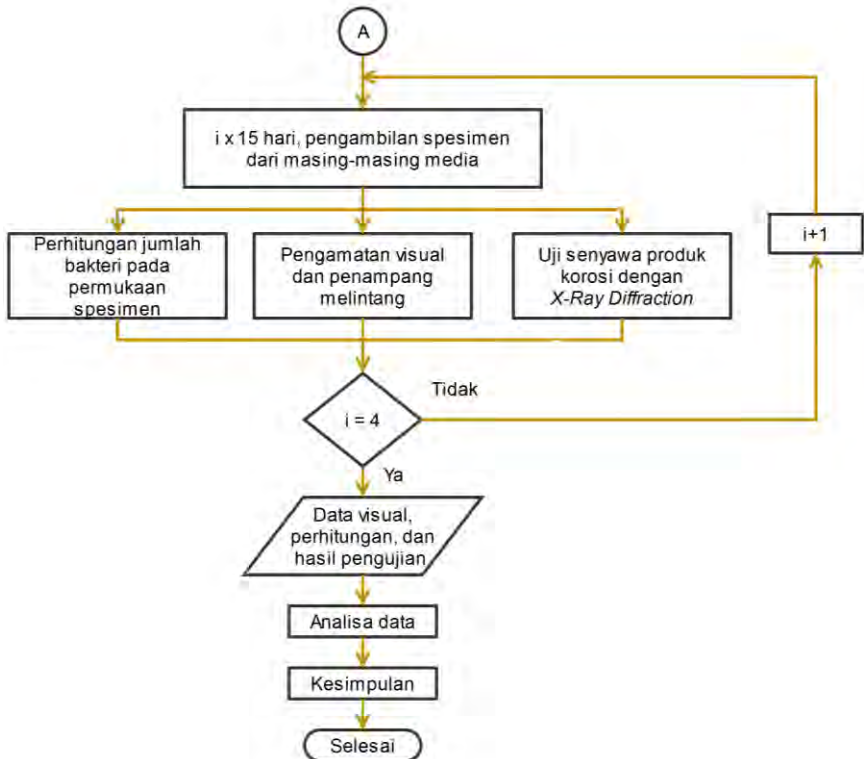


*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

## 3.2 Peralatan Penelitian

### 3.2.1 Peralatan Pembuatan Media

1. *Autoclave*, digunakan untuk mensterilkan media dan peralatan sebagai perlengkapan proses pengembang biakan bakteri pereduksi sulfat.
2. Tabung Reaksi, digunakan sebagai tempat pencampuran bahan-bahan pembuatan media bakteri.

3. Gelas Ukur, digunakan untuk mengukur volume larutan.
4. Pipet Steril, digunakan untuk mengambil sampel dari media.

### **3.2.2 Peralatan Pengkondisian**

1. Labu erlenmeyer 100 ml, berfungsi sebagai tempat pengkondisian spesimen dan media.
2. Sumbat Karet, berfungsi sebagai penutup mulut labu erlenmeyer.
3. Lilin bentuk, digunakan untuk mengisolasi labu erlenmeyer dari udara sekitar pada pengkondisian anaerob.

### **3.2.3 Peralatan Pengujian**

1. Mikroskop Optis, berfungsi sebagai alat uji visual pada permukaan spesimen setelah pengkondisian. Selain itu, skala pada mikroskop optis digunakan untuk mengukur ketebalan spesimen setelah pengkondisian.
2. *X Ray Diffractometer*, digunakan untuk memeriksa kandungan senyawa pada produk korosi.
3. *Wire Cut*, digunakan untuk memotong spesimen secara melintang pada titik yang diindikasikan mengalami korosi sumuran.

### **3.2.4 Peralatan Pendukung**

1. *Sulphur Analyzer*, digunakan untuk melakukan pengujian kandungan sulfur pada *crude oil*.
2. PH Meter, digunakan untuk mengukur pH awal media sebelum pengkondisian.
3. Jangka Sorong Digital, berfungsi sebagai alat ukur dimensi spesimen.
4. Tabung Ukur, digunakan sebagai tempat pencampuran *crude oil* dan bakteri.
5. Pipet Steril, digunakan pada proses pengembangbiakan dan penghitungan jumlah bakteri.

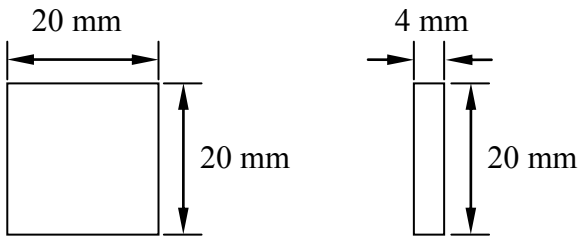
6. Kamera Digital, berfungsi sebagai alat pengamatan visual spesimen dan perekam seluruh kegiatan penelitian.
7. Mesin Gerinda, digunakan untuk menghaluskan spesimen setelah proses pemotongan penampang melintang (proses *polishing* dengan menggunakan alumina).
8. Tabung Gas Nitrogen, berfungsi sebagai wadah gas nitrogen yang digunakan untuk pengkondisian media anaerob.
9. *Mould*, digunakan pada proses *mounting* untuk spesimen yang telah dipotong melintang. Hal ini bertujuan agar spesimen mudah dipegang saat pengujian kedalaman *pitting* dengan mikroskop optis.
10. Inkubator, digunakan pada proses inkubasi bakteri.

### 3.3 Persiapan Spesimen

Spesimen yang digunakan adalah :

Bahan : Baja karbon rendah JIS G3101 Grade SS 400

Dimensi :           - Panjang       = 20 mm  
                           - Lebar           = 20 mm  
                           - Tinggi         = 4 mm



Gambar 3.2 Dimensi spesimen

Persiapan spesimen yang dilakukan meliputi :

- Jumlah spesimen, digunakan 45 spesimen dengan rincian pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Rincian penggunaan spesimen pada penelitian

<b>Media</b>	<b>Jumlah (buah)</b>
50 ml <i>Crude oil</i> , 10 ml SRB, anaerob	12
30 ml <i>Crude oil</i> , 30 ml SRB, anaerob	12
30 ml <i>Crude oil</i> , 30 ml SRB, aerob	12
60 ml <i>Crude oil</i> , anaerob	4
60 ml <i>Crude oil</i> , aerob	4
Spesimen standar	1
<b>Jumlah keseluruhan</b>	<b>45</b>

- Pemotongan spesimen, dilakukan sesuai dimensi yang telah ditetapkan.
- Proses *grinding*, dilakukan untuk meratakan dan menghaluskan permukaan spesimen. *Grinding* dilakukan menggunakan mesin gerinda tangan dengan kertas gosok grit 150. *Grinding* dilakukan sampai spesimen rata dan halus.
- Pembersihan spesimen, dilakukan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada spesimen sebelum pengkondisian. Pembersihan dilakukan dengan menggunakan cairan etanol 70 % yang kemudian dikeringkan dengan menggunakan *hair dryer*.

### 3.4 Pengembangbiakan Bakteri Pereduksi Sulfat

#### 3.4.1 Pembuatan Media Bakteri

Media yang digunakan untuk kulturisasi bakteri pereduksi sulfat adalah mineral salt modifikasi yang dibuat dengan cara :

1. Bahan pembuatan :
  - 1,2 gr  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
  - 1,8 gr  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
  - 0,1 gr  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

- 0,5 gr  $\text{NH}_4\text{Cl}$
  - 0,03 gr  $\text{CaCl}_2$
  - 0,02 gr  $\text{MnSO}_4$
  - 0,02 gr  $\text{FeCl}_3$
  - 4 gr  $\text{NaHCO}_3$
  - 20 gr  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
2. Semua bahan dicampurkan di dalam gelas ukur.
  3. Campuran tersebut dilarutkan dengan aquades hingga volume 1 liter.
  4. Larutan tersebut dimasukkan ke dalam autoclave, dibiarkan selama 15 menit pada temperatur  $121^\circ\text{C}$  dan tekanan 1,5 atm.

### 3.4.2 Pengembangbiakan Bakteri

Pengembangbiakan bakteri pereduksi sulfat dilakukan di media mineral salt modifikasi. Sebelum melakukan pengembangbiakan bakteri, dilakukan pemilihan sampel menggunakan metode pengenceran dengan tahapan :

1. Pembuatan larutan fisiologis, yaitu larutan yang mengandung 8,5 gr  $\text{NaCl}$  di setiap 1 liter aquades.
2. Pengisian larutan fisiologis ke dalam 14 buah tabung reaksi, masing-masing diberikan 9 ml larutan fisiologis.
3. Setiap tabung reaksi diberi label dari  $10^{-1}$  hingga  $10^{-14}$ .
4. 1 ml sampel *crude oil* dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan label  $10^{-1}$ , kemudian dikocok hingga larutan tercampur rata. Metode ini disebut sebagai pengenceran.
5. 1 ml larutan dari tabung reaksi dengan label  $10^{-1}$  dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan label  $10^{-2}$ , kemudian dikocok hingga larutan tercampur rata.
6. Langkah ke-5 diulangi untuk pencampuran larutan pada tingkat selanjutnya dengan cara yang sama, sampai tabung reaksi dengan label  $10^{-14}$ .
7. 1 ml larutan yang sudah diencerkan, dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berbeda dengan label  $10^{-1}$  hingga  $10^{-14}$ .
8. Media mineral salt modifikasi dimasukkan ke dalam masing-masing tabung reaksi dengan label  $10^{-1}$  hingga  $10^{-14}$ .

9. Sel bakteri pada setiap tabung reaksi diamati dan dipilih satu tabung reaksi yang dapat dihitung jumlah sel bakterinya untuk dikembangbiakkan ke dalam media mineral salt modifikasi.

### **3.5 Pengambilan Data Awal**

#### **3.5.1 Pengambilan Data Awal Spesimen**

Pada tahap ini, proses yang dilakukan adalah:

1. Pengukuran dimensi spesimen yang meliputi pengukuran panjang, lebar dan tinggi spesimen dengan menggunakan jangka sorong digital.
2. Pengamatan permukaan spesimen pada awal pengkondisian dengan cara dokumentasi menggunakan kamera digital.

#### **3.5.2 Pengambilan Data Awal Media**

Data awal yang diambil pada media pengkondisian adalah:

1. Perhitungan jumlah sel bakteri pada masing-masing media (60 ml *Crude oil*, 30 ml *crude oil* + 30 ml SRB, 50 ml *crude oil* + 10 ml SRB) berdasarkan *Standard Methods 9020 21<sup>st</sup> Edition* (2005). Perhitungan dilakukan dengan metode pengenceran, yaitu :
  - a. Pembuatan larutan fisiologis, yaitu larutan yang mengandung 8,5 gr NaCl di setiap 1 liter aquades.
  - b. Pengisian larutan fisiologis ke dalam 10 buah tabung reaksi, masing-masing diberikan 9 ml larutan fisiologis.
  - c. Setiap tabung reaksi diberi label dari  $10^{-1}$  hingga  $10^{-10}$ .
  - d. 1 ml sampel media dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan label  $10^{-1}$ , kemudian dikocok hingga larutan tercampur rata. Metode ini disebut sebagai pengenceran.
  - e. 1 ml larutan dari tabung reaksi dengan label  $10^{-1}$  dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan label  $10^{-2}$ , kemudian dikocok hingga larutan tercampur rata.
  - f. Langkah 'e' diulangi untuk pencampuran larutan pada tingkat selanjutnya dengan cara yang sama, sampai tabung reaksi dengan label  $10^{-10}$ .



- g. 1 ml larutan pada tabung reaksi  $10^{-10}$  diletakkan ke dalam cawan petri.
  - h. Ditambahkan 10 ml *Nutrient Agar* (NA) sebagai media kultur bakteri ke dalam cawan petri.
  - i. Larutan dicampur hingga merata dengan cara menggoyangkan cawan petri searah horizontal, vertikal, berputar searah jarum jam, dan berputar berlawanan arah jarum jam.
  - j. Campuran NA dan sampel ditunggu hingga mengeras.
  - k. Setelah mengeras, cawan petri dimasukkan ke dalam inkubator selama 1 hari.
  - l. Pada hari berikutnya, cawan petri diambil dari inkubator dan dihitung sel bakteri yang terlihat, kemudian hasil yang diperoleh dicatat.
  - m. Jika koloni bakteri terlalu banyak sehingga sulit dihitung, maka pengenceran dilanjutkan pada tingkat selanjutnya, sesuai langkah pada poin 'e' sampai 'l'.
2. pH dari media, diukur menggunakan pH meter.

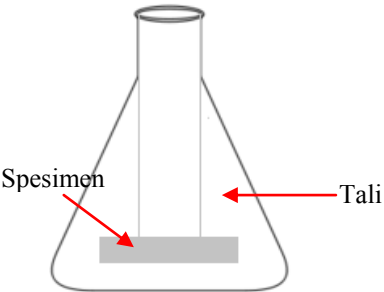
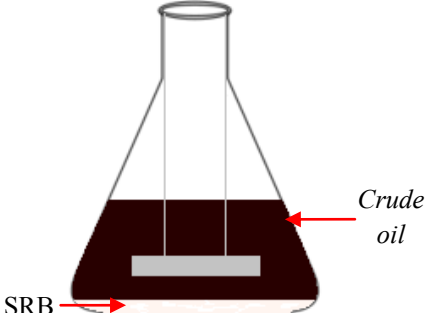
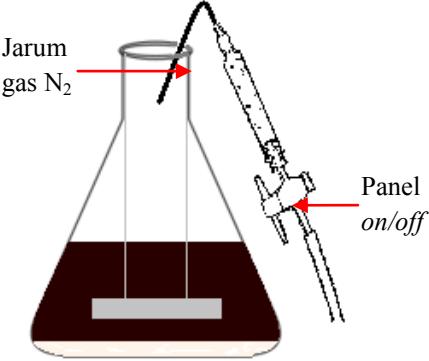
### **3.6 Pengkondisian Spesimen dalam Media**


Tahapan ini dilakukan dengan melakukan pengkondisian pada spesimen dengan 5 variasi media.

#### **3.6.1 Media Uji 50 ml *Crude oil*, 10 ml SRB, anaerob (10 Anaerob)**

Media uji 10 anaerob dibuat dengan cara sebagai berikut:

Tabel 3.2 Langkah pengkondisian spesimen pada media uji 10 anaerob

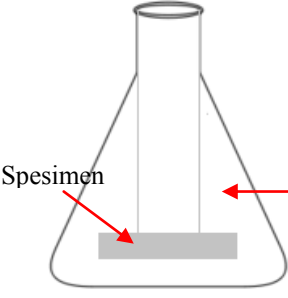
No	Gambar	Keterangan
1		<p>Pemasukan spesimen ke dalam labu erlenmeyer dengan cara digantungkan menggunakan benang tekstil. Hal ini bertujuan agar kedua permukaan spesimen (atas dan bawah) berinteraksi dengan media.</p>
2		<p>Pemasukan media ke dalam labu erlenmeyer, yaitu 50 ml <i>crude oil</i> dicampurkan dengan 10 ml bakteri pereduksi sulfat.</p>
3		<p>Labu erlenmeyer diisi dengan gas nitrogen melalui jarum yang terhubung dengan tabung gas nitrogen, kurang lebih selama 1-2 menit (<i>Standard Methods 2720 A, 21<sup>st</sup> Edition</i>).</p>

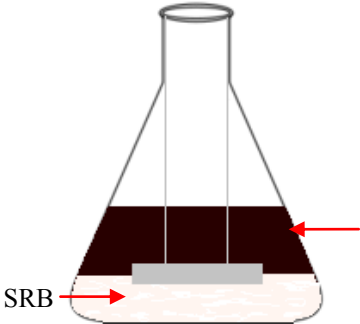
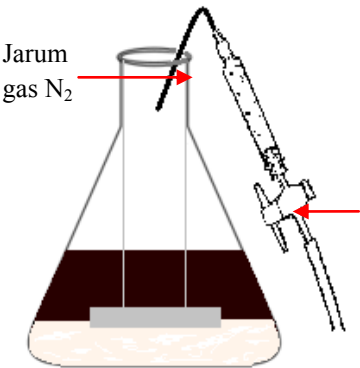
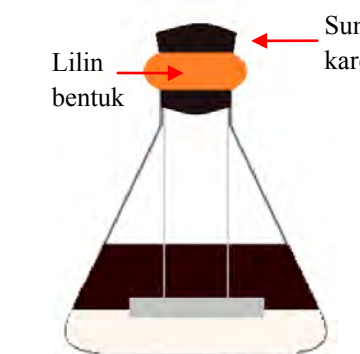
4	 <p>The diagram shows an Erlenmeyer flask containing a dark liquid. The neck of the flask is sealed with a black stopper. A red arrow points to the stopper with the label 'Sumbat karet'. Another red arrow points to an orange wax plug inserted into the neck of the flask, with the label 'Lilin bentuk'.</p>	<p>Mulut labu erlenmeyer ditutup dengan sumbat karet secara cepat setelah proses pengisian nitrogen dan diisolasi dengan menggunakan lilin bentuk. untuk meminimalisir masuknya oksigen ke dalam labu erlenmeyer.</p>
---	--	---

### 3.6.2 Media Uji 30 ml *Crude oil*, 30 ml SRB, anaerob (30 Anaerob)

Media uji 30 anaerob dibuat dengan cara sebagai berikut:

Tabel 3.3 Langkah pengkondisian spesimen pada media uji 30 anaerob

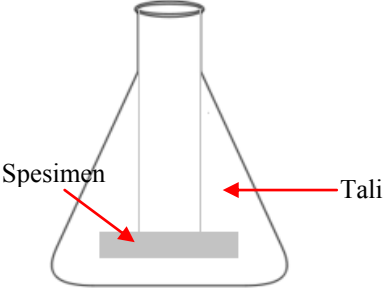
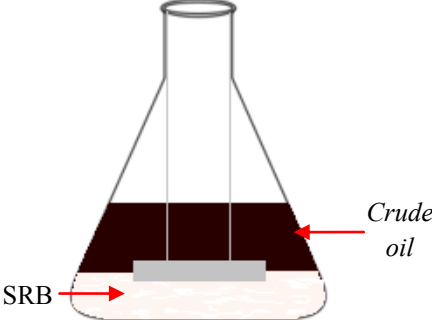
No	Gambar	Keterangan
1	 <p>The diagram shows an Erlenmeyer flask containing a dark liquid. A grey rectangular specimen is placed at the bottom of the flask. A red arrow points to the specimen with the label 'Spesimen'. Another red arrow points to a string hanging from the neck of the flask down to the specimen, with the label 'Tali'.</p>	<p>Pemasukan spesimen ke dalam labu erlenmeyer dengan cara digantungkan menggunakan benang tekstil. Hal ini bertujuan agar kedua permukaan spesimen (atas dan bawah) berinteraksi dengan media.</p>

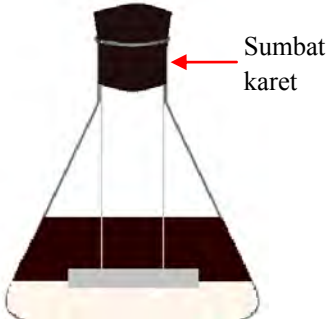
2		<p>Pemasukan media ke dalam labu erlenmeyer, yaitu 30 ml <i>crude oil</i> dicampurkan dengan 30 ml bakteri pereduksi sulfat.</p>
3		<p>Labu erlenmeyer diisi dengan gas nitrogen melalui jarum yang terhubung dengan tabung gas nitrogen, kurang lebih selama 1-2 menit (<i>Standard Methods 2720 A, 21<sup>st</sup> Edition</i>).</p>
4		<p>Mulut labu erlenmeyer ditutup dengan sumbat karet secara cepat setelah proses pengisian nitrogen dan diisolasi dengan menggunakan lilin bentuk untuk meminimalisir masuknya oksigen ke dalam labu erlenmeyer.</p>

### 3.6.3 Media Uji 30 ml *Crude oil*, 30 ml SRB, aerob (30 Aerob)

Media uji 30 aerob dibuat dengan cara sebagai berikut:

Tabel 3.4 Langkah pengkondisian spesimen pada media uji 30 aerob

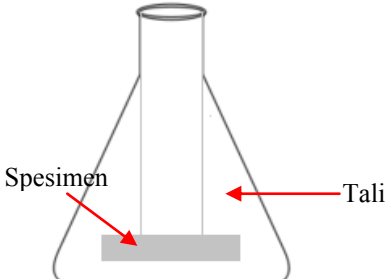
No	Gambar	Keterangan
1	 <p>The diagram shows an Erlenmeyer flask with a grey rectangular specimen resting on a platform at the bottom. A vertical string is attached to the top of the specimen and extends upwards. Red arrows point from the labels 'Spesimen' and 'Tali' to the specimen and string respectively.</p>	<p>Pemasukan spesimen ke dalam labu erlenmeyer dengan cara digantungkan menggunakan benang tekstil. Hal ini bertujuan agar kedua permukaan spesimen (atas dan bawah) berinteraksi dengan media.</p>
2	 <p>The diagram shows an Erlenmeyer flask containing a mixture. The bottom layer is light-colored and labeled 'SRB' with a red arrow. The top layer is dark brown and labeled 'Crude oil' with a red arrow. A vertical string is suspended in the center of the flask, with its bottom end resting on the SRB layer.</p>	<p>Pemasukan media ke dalam labu erlenmeyer, yaitu 30 ml <i>crude oil</i> dicampurkan dengan 30 ml bakteri pereduksi sulfat.</p>

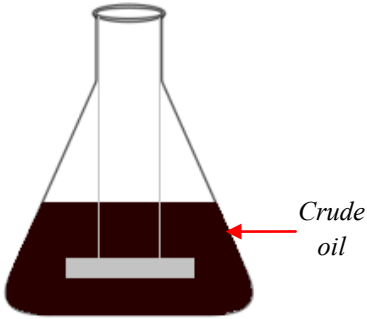
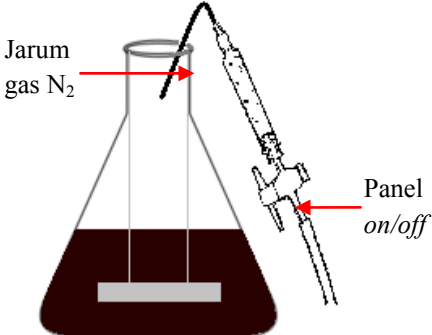
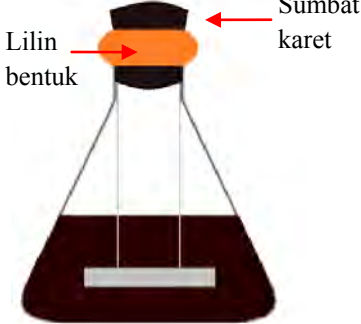
3		<p>Mulut labu erlenmeyer ditutup dengan sumbat karet untuk mengisolasi media dari lingkungan sekitar.</p>
---	---	---

### 3.6.4 Media Uji 60 ml *Crude oil*, anaerob (co anaerob)

Media uji co anaerob dibuat dengan cara sebagai berikut:

Tabel 3.5 Langkah pengkondisian spesimen pada media uji co anaerob

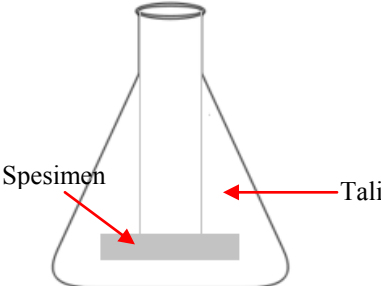
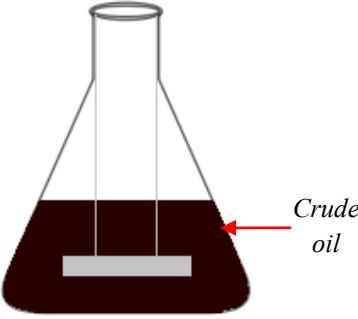
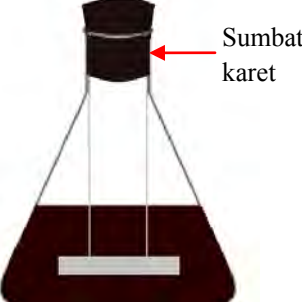
No	Gambar	Keterangan
1		<p>Pemasukan spesimen ke dalam labu erlenmeyer dengan cara digantungkan menggunakan benang tekstil. Hal ini bertujuan agar kedua permukaan spesimen (atas dan bawah) berinteraksi dengan media.</p>

2		<p>Pemasukan media ke dalam labu erlenmeyer, yaitu 60 ml <i>crude oil</i>.</p>
3		<p>Labu erlenmeyer diisi dengan gas nitrogen melalui jarum yang terhubung dengan tabung gas nitrogen, kurang lebih selama 1-2 menit (<i>Standard Methods 2720 A, 21<sup>st</sup> Edition</i>).</p>
4		<p>Mulut labu erlenmeyer ditutup dengan sumbat karet secara cepat setelah proses pengisian nitrogen dan diisolasi dengan menggunakan lilin bentuk untuk meminimalisir masuknya oksigen ke dalam labu erlenmeyer.</p>

### 3.6.5 Media Uji 60 ml *Crude oil*, aerob (co aerob)

Media uji co aerob dibuat dengan cara sebagai berikut:

Tabel 3.6 Langkah pengkondisian spesimen pada media uji co aerob

No	Gambar	Keterangan
1	 <p>The diagram shows an Erlenmeyer flask with a grey rectangular specimen at the bottom. A string is attached to the specimen and extends upwards. A red arrow labeled 'Spesimen' points to the specimen, and another red arrow labeled 'Tali' points to the string.</p>	<p>Pemasukan spesimen ke dalam labu erlenmeyer dengan cara digantungkan menggunakan benang tekstil. Hal ini bertujuan agar kedua permukaan spesimen (atas dan bawah) berinteraksi dengan media.</p>
2	 <p>The diagram shows an Erlenmeyer flask partially filled with a dark liquid. The string and specimen from the previous step are submerged in the liquid. A red arrow labeled 'Crude oil' points to the liquid.</p>	<p>Pemasukan media ke dalam labu erlenmeyer, yaitu 60 ml <i>crude oil</i>.</p>
3	 <p>The diagram shows the Erlenmeyer flask with the stopper inserted into the neck. A red arrow labeled 'Sumbat karet' points to the stopper.</p>	<p>Mulut labu erlenmeyer ditutup dengan sumbat karet untuk mengisolasi media dari lingkungan sekitar.</p>

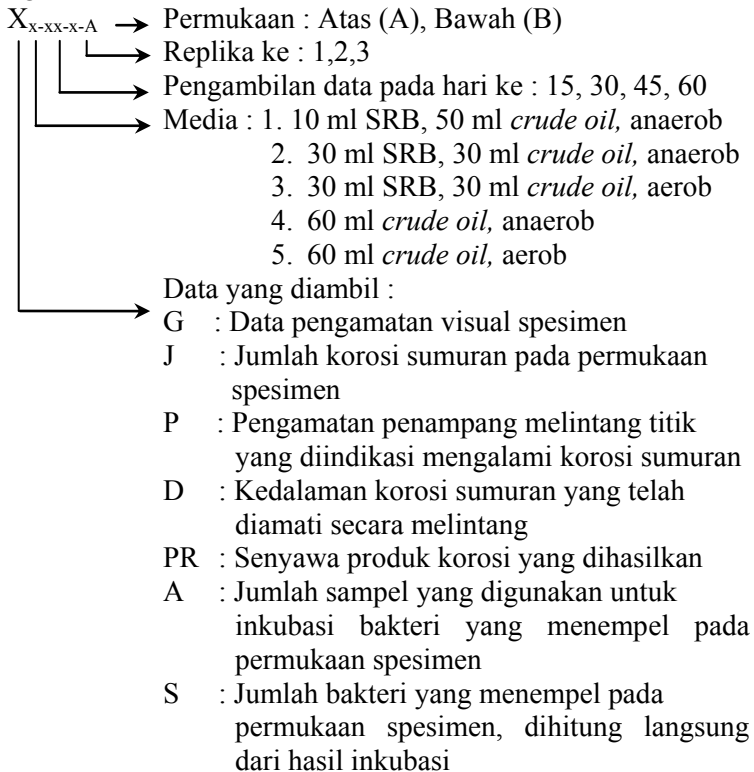


### 3.7 Pengambilan Data Secara Periodik

Pengambilan data dilakukan secara periodik setiap 15 hari selama 60 hari, yaitu pada hari ke 15, 30, 45 dan 60. Pengambilan data yang dilakukan meliputi :

- Pengamatan Visual Spesimen
- Pengamatan Jumlah Korosi Sumuran
- Pengamatan Penampang Melintang
- Uji Senyawa Produk Korosi
- Perhitungan Jumlah Bakteri

Adapun *coding* yang dilakukan pada desain eksperimen adalah sebagai berikut :



B : Jumlah bakteri yang menempel pada permukaan spesimen, dihitung secara teoritis untuk mendapatkan jumlah bakteri per gram lapisan pada permukaan spesimen

**Contoh :** J<sub>3-30-1-A</sub>

Jumlah korosi sumuran pada media pengkondisian 3 (30 ml SRB, 30 ml *crude oil*, aerob) untuk replika 1 pada permukaan atas.

### 3.7.1 Pengamatan Visual Spesimen

Pengamatan visual yang dilakukan adalah saat spesimen dikeluarkan dari labu Erlenmeyer dan setelah kotoran yang melekat pada spesimen dibersihkan. Pengamatan visual meliputi dokumentasi pada permukaan spesimen dengan pembesaran 1x, 50x, 100x, 200x, dan 500x di titik yang diindikasikan mengalami korosi.

Tabel 3.7 Data pengamatan visual spesimen

Media	Waktu	Replika ke-					
		1		2		3	
		Permukaan atas	Permukaan bawah	Permukaan atas	Permukaan bawah	Permukaan atas	Permukaan bawah
10 anaerob	15 hari	G <sub>1-15-1-A</sub>	G <sub>1-15-1-B</sub>	G <sub>1-15-2-A</sub>	G <sub>1-15-2-B</sub>	G <sub>1-15-3-A</sub>	G <sub>1-15-3-B</sub>
	30 hari	G <sub>1-30-1-A</sub>	G <sub>1-30-1-B</sub>	G <sub>1-30-2-A</sub>	G <sub>1-30-2-B</sub>	G <sub>1-30-3-A</sub>	G <sub>1-30-3-B</sub>
	45 hari	G <sub>1-45-1-A</sub>	G <sub>1-45-1-B</sub>	G <sub>1-45-2-A</sub>	G <sub>1-45-2-B</sub>	G <sub>1-45-3-A</sub>	G <sub>1-45-3-B</sub>
	60 hari	G <sub>1-60-1-A</sub>	G <sub>1-60-1-B</sub>	G <sub>1-60-2-A</sub>	G <sub>2-60-2-B</sub>	G <sub>1-60-3-A</sub>	G <sub>1-60-3-B</sub>
30 anaerob	15 hari	G <sub>2-15-1-A</sub>	G <sub>2-15-1-B</sub>	G <sub>2-15-2-A</sub>	G <sub>2-15-2-B</sub>	G <sub>2-15-3-A</sub>	G <sub>2-15-3-B</sub>
	30 hari	G <sub>2-30-1-A</sub>	G <sub>2-30-1-B</sub>	G <sub>2-30-2-A</sub>	G <sub>2-30-2-B</sub>	G <sub>2-30-3-A</sub>	G <sub>2-30-3-B</sub>
	45 hari	G <sub>2-45-1-A</sub>	G <sub>2-45-1-B</sub>	G <sub>2-45-2-A</sub>	G <sub>2-45-2-B</sub>	G <sub>2-45-3-A</sub>	G <sub>2-45-3-B</sub>
	60 hari	G <sub>2-60-1-A</sub>	G <sub>2-60-1-B</sub>	G <sub>2-60-2-A</sub>	G <sub>2-60-2-B</sub>	G <sub>2-60-3-A</sub>	G <sub>2-60-3-B</sub>
30 aerob	15 hari	G <sub>3-15-1-A</sub>	G <sub>3-15-1-B</sub>	G <sub>3-15-2-A</sub>	G <sub>3-15-2-B</sub>	G <sub>3-15-3-A</sub>	G <sub>3-15-3-B</sub>
	30 hari	G <sub>3-30-1-A</sub>	G <sub>3-30-1-B</sub>	G <sub>3-30-2-A</sub>	G <sub>3-30-2-B</sub>	G <sub>3-30-3-A</sub>	G <sub>3-30-3-B</sub>
	45 hari	G <sub>3-45-1-A</sub>	G <sub>3-45-1-B</sub>	G <sub>3-45-2-A</sub>	G <sub>3-45-2-B</sub>	G <sub>3-45-3-A</sub>	G <sub>3-45-3-B</sub>
	60 hari	G <sub>3-60-1-A</sub>	G <sub>3-60-1-B</sub>	G <sub>3-60-2-A</sub>	G <sub>3-60-2-B</sub>	G <sub>3-60-3-A</sub>	G <sub>3-60-3-B</sub>
co anaerob	30 hari	G <sub>4-30-1-A</sub>	G <sub>4-30-1-B</sub>	G <sub>4-30-2-A</sub>	G <sub>4-30-2-B</sub>		
	60 hari	G <sub>4-60-1-A</sub>	G <sub>4-60-1-B</sub>	G <sub>4-60-2-A</sub>	G <sub>4-60-2-B</sub>		
co aerob	30 hari	G <sub>5-30-1-A</sub>	G <sub>5-30-1-B</sub>	G <sub>5-30-2-A</sub>	G <sub>5-30-2-B</sub>		
	60 hari	G <sub>5-60-1-A</sub>	G <sub>5-60-1-B</sub>	G <sub>5-60-2-A</sub>	G <sub>5-60-2-B</sub>		

### 3.7.2 Pengamatan Jumlah Korosi Sumuran

Korosi sumuran yang terdapat di permukaan spesimen dihitung jumlahnya, baik pada permukaan atas maupun pada permukaan bawah spesimen.

Tabel 3.8 Data pengamatan jumlah korosi sumuran

Media	Replika ke-	Jumlah korosi sumuran pada permukaan spesimen							
		15 hari		30 hari		45 hari		60 hari	
		atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah
10 anaerob	1	J <sub>1-15-1-A</sub>	J <sub>1-15-1-B</sub>	J <sub>1-30-1-A</sub>	J <sub>1-30-1-B</sub>	J <sub>1-45-1-A</sub>	J <sub>1-45-1-B</sub>	J <sub>1-60-1-A</sub>	J <sub>1-60-1-B</sub>
	2	J <sub>1-15-2-A</sub>	J <sub>1-15-2-B</sub>	J <sub>1-30-2-A</sub>	J <sub>1-30-2-B</sub>	J <sub>1-45-2-A</sub>	J <sub>1-45-2-B</sub>	J <sub>1-60-2-A</sub>	J <sub>1-60-2-B</sub>
	3	J <sub>1-15-3-A</sub>	J <sub>1-15-3-B</sub>	J <sub>1-30-3-A</sub>	J <sub>1-30-3-B</sub>	J <sub>1-45-3-A</sub>	J <sub>1-45-3-B</sub>	J <sub>1-60-3-A</sub>	J <sub>1-60-3-B</sub>
30 anaerob	1	J <sub>2-15-1-A</sub>	J <sub>2-15-1-B</sub>	J <sub>2-30-1-A</sub>	J <sub>2-30-1-B</sub>	J <sub>2-45-1-A</sub>	J <sub>2-45-1-B</sub>	J <sub>2-60-1-A</sub>	J <sub>2-60-1-B</sub>
	2	J <sub>2-15-2-A</sub>	J <sub>2-15-2-B</sub>	J <sub>2-30-2-A</sub>	J <sub>2-30-2-B</sub>	J <sub>2-45-2-A</sub>	J <sub>2-45-2-B</sub>	J <sub>2-60-2-A</sub>	J <sub>2-60-2-B</sub>
	3	J <sub>2-15-3-A</sub>	J <sub>2-15-3-B</sub>	J <sub>2-30-3-A</sub>	J <sub>2-30-3-B</sub>	J <sub>2-45-3-A</sub>	J <sub>2-45-3-B</sub>	J <sub>2-60-3-A</sub>	J <sub>2-60-3-B</sub>
30 aerob	1	J <sub>3-15-1-A</sub>	J <sub>3-15-1-B</sub>	J <sub>3-30-1-A</sub>	J <sub>3-30-1-B</sub>	J <sub>3-45-1-A</sub>	J <sub>3-45-1-B</sub>	J <sub>3-60-1-A</sub>	J <sub>3-60-1-B</sub>
	2	J <sub>3-15-2-A</sub>	J <sub>3-15-2-B</sub>	J <sub>3-30-2-A</sub>	J <sub>3-30-2-B</sub>	J <sub>3-45-2-A</sub>	J <sub>3-45-2-B</sub>	J <sub>3-60-2-A</sub>	J <sub>3-60-2-B</sub>
	3	J <sub>3-15-3-A</sub>	J <sub>3-15-3-B</sub>	J <sub>3-30-3-A</sub>	J <sub>3-30-3-B</sub>	J <sub>3-45-3-A</sub>	J <sub>3-45-3-B</sub>	J <sub>3-60-3-A</sub>	J <sub>3-60-3-B</sub>
co anaerob	1	-	-	J <sub>4-30-1-A</sub>	J <sub>4-30-1-B</sub>	-	-	J <sub>4-60-1-A</sub>	J <sub>4-60-1-B</sub>
	2	-	-	J <sub>4-30-2-A</sub>	J <sub>4-30-2-B</sub>	-	-	J <sub>4-60-2-A</sub>	J <sub>4-60-2-B</sub>
Co aerob	1	-	-	J <sub>5-30-1-A</sub>	J <sub>5-30-1-B</sub>	-	-	J <sub>5-60-1-A</sub>	J <sub>5-60-1-B</sub>
	2	-	-	J <sub>5-30-2-A</sub>	J <sub>5-30-2-B</sub>	-	-	J <sub>5-60-2-A</sub>	J <sub>5-60-2-B</sub>

### 3.7.3 Pengamatan Penampang Melintang pada Titik yang Diindikasikan Mengalami Korosi Sumuran

Spesimen yang telah dipotong melintang diamati di bawah mikroskop optis untuk dihitung kedalaman korosi sumuran yang diindikasikan terjadi pada titik tersebut.

Tabel 3.9 Kedalaman *pitting corrosion* pada spesimen

Media	Hasil pengamatan			
	15 hari	30 hari	45 hari	60 hari
10 anaerob	P <sub>1-15</sub> , D <sub>1-15</sub>	P <sub>1-30</sub> , D <sub>1-30</sub>	P <sub>1-45</sub> , D <sub>1-45</sub>	P <sub>1-60</sub> , D <sub>1-60</sub>
30 anaerob	P <sub>2-15</sub> , D <sub>2-15</sub>	P <sub>2-30</sub> , D <sub>2-30</sub>	P <sub>2-45</sub> , D <sub>2-45</sub>	P <sub>2-60</sub> , D <sub>2-60</sub>
30 aerob	P <sub>3-15</sub> , D <sub>3-15</sub>	P <sub>3-30</sub> , D <sub>3-30</sub>	P <sub>3-45</sub> , D <sub>3-45</sub>	P <sub>3-60</sub> , D <sub>3-60</sub>
co anaerob	P <sub>4-15</sub> , D <sub>4-15</sub>	P <sub>4-30</sub> , D <sub>4-30</sub>	P <sub>4-45</sub> , D <sub>4-45</sub>	P <sub>4-60</sub> , D <sub>4-60</sub>
co aerob	P <sub>5-15</sub> , D <sub>5-15</sub>	P <sub>5-30</sub> , D <sub>5-30</sub>	P <sub>5-45</sub> , D <sub>5-45</sub>	P <sub>5-60</sub> , D <sub>5-60</sub>

### 3.7.4 Uji Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen

Dilakukan pengujian *X Ray Diffraction* untuk mengetahui produk korosi yang dihasilkan dari lapisan yang menempel di permukaan spesimen.

Tabel 3.10 Senyawa produk korosi hasil pengkondisian di masing-masing media

Waktu	Hasil pengamatan			
	15 hari	30 hari	45 hari	60 hari
10 anaerob	PR <sub>1-15</sub>	PR <sub>1-30</sub>	PR <sub>1-45</sub>	PR <sub>1-60</sub>
30 anaerob	PR <sub>2-15</sub>	PR <sub>2-30</sub>	PR <sub>2-45</sub>	PR <sub>2-60</sub>
30 aerob	PR <sub>3-15</sub>	PR <sub>3-30</sub>	PR <sub>3-45</sub>	PR <sub>3-60</sub>
co anaerob	PR <sub>4-15</sub>	PR <sub>4-30</sub>	PR <sub>4-45</sub>	PR <sub>4-60</sub>
co aerob	PR <sub>5-15</sub>	PR <sub>5-30</sub>	PR <sub>5-45</sub>	PR <sub>5-60</sub>

### 3.7.5 Perhitungan Jumlah Bakteri

Bakteri yang hidup dan berkembang di permukaan spesimen dihitung jumlahnya untuk mengetahui hubungan jumlah bakteri yang menempel di permukaan spesimen dengan korosi yang terjadi.

Jumlah bakteri dihitung langsung setelah melalui proses inkubasi dengan jumlah sampel tertentu. Kemudian jumlah bakteri dihitung secara teoritis untuk mendapatkan jumlah bakteri pada tiap gram sampel. Perhitungan jumlah bakteri dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Jumlah bakteri total} = \frac{\text{Jumlah bakteri}}{\text{Jumlah sampel (gr)}} \times \text{tingkat pengenceran}$$

Tabel 3.11 Jumlah bakteri pada permukaan spesimen

	Data	15 hari	30 hari	45 hari	60 hari
10 anaerob	Jumlah Bakteri	A <sub>1-15</sub>	A <sub>1-30</sub>	A <sub>1-45</sub>	A <sub>1-60</sub>
	Jumlah Sampel (gr)	S <sub>1-15</sub>	S <sub>1-30</sub>	S <sub>1-45</sub>	S <sub>1-60</sub>
	Jumlah Bakteri Total	B <sub>1-15</sub>	B <sub>1-30</sub>	B <sub>1-45</sub>	B <sub>1-60</sub>
30 anaerob	Jumlah Bakteri	A <sub>2-15</sub>	A <sub>2-30</sub>	A <sub>2-45</sub>	A <sub>2-60</sub>
	Jumlah Sampel (gr)	S <sub>2-15</sub>	S <sub>2-30</sub>	S <sub>2-45</sub>	S <sub>2-60</sub>
	Jumlah Bakteri Total	B <sub>2-15</sub>	B <sub>2-30</sub>	B <sub>2-45</sub>	B <sub>2-60</sub>
30 aerob	Jumlah Bakteri	A <sub>3-15</sub>	A <sub>3-30</sub>	A <sub>3-45</sub>	A <sub>3-60</sub>
	Jumlah Sampel (gr)	S <sub>3-15</sub>	S <sub>3-30</sub>	S <sub>3-45</sub>	S <sub>3-60</sub>
	Jumlah Bakteri Total	B <sub>3-15</sub>	B <sub>3-30</sub>	B <sub>3-45</sub>	B <sub>3-60</sub>
co anareob	Jumlah Bakteri	-	A <sub>4-30</sub>	-	A <sub>4-60</sub>
	Jumlah Sampel (gr)	-	S <sub>4-30</sub>	-	S <sub>4-60</sub>
	Jumlah Bakteri Total	-	B <sub>4-30</sub>	-	B <sub>4-60</sub>
co areob	Jumlah Bakteri	-	A <sub>5-30</sub>	-	A <sub>5-60</sub>
	Jumlah Sampel (gr)	-	S <sub>5-30</sub>	-	S <sub>5-60</sub>
	Jumlah Bakteri Total	-	B <sub>5-30</sub>	-	B <sub>5-60</sub>

## **BAB IV DATA DAN ANALISA**

### **4.1 Pengamatan Visual Spesimen**

Spesimen diamati sebelum dan setelah pengkondisian untuk mengetahui perubahan pada spesimen selama 60 hari. Perubahan ini meliputi visual spesimen pada permukaan atas dan permukaan bawah.





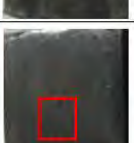






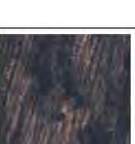



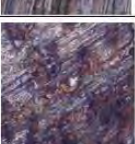


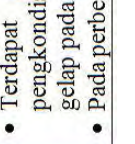
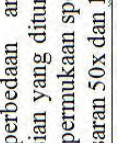
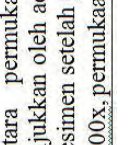
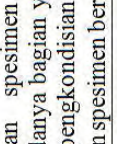
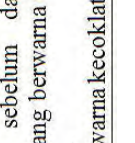
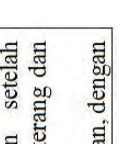


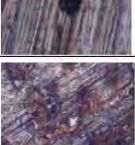



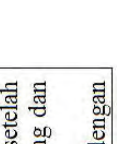
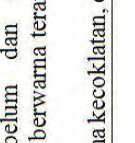
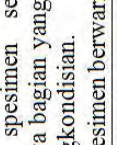
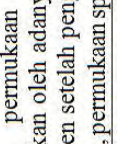
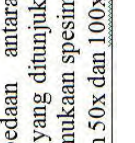
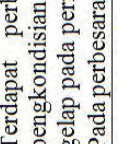
#### **4.1.1 Data Pengamatan Visual Spesimen**

Data pengamatan visual sebelum dan setelah pengkondisian setiap 15 hari dapat dilihat pada gambar 4.1, tabel 4.1 dan tabel 4.2.



Gambar 4.1 Permukaan spesimen sebelum pengkondisian, tidak terdapat cacat pada permukaan.

Tabel 4.1 Data pengamatan visual spesimen setelah pengkondisian di media *crude oil* dengan penambahan SRB



Media	Waktu	Perbesaran	Replika ke-											
			1			2			3					
			Permukaan atas	Permukaan bawah	Permukaan atas	Permukaan bawah	Permukaan atas	Permukaan bawah	Permukaan atas	Permukaan bawah				
50ml <i>crude Oil</i> + 10ml SRB lingkungan anaerob	15 hari	1x												
		50x												
		100x												

- Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan setelah pengkondisian.
- Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan














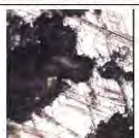


50ml <i>crude Oil</i> + 10ml SRB lingkungan anaerob	30 hari	1x	50x	100x									

- Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.
- Permukaan atas replika 1 berwarna kecoklatan dengan deposit yang banyak.
- Permukaan atas replika 2 dan 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit kecil pada beberapa titik.
- Permukaan bawah replika 1, 2, dan 3 memiliki warna yang lebih gelap dari permukaan atas dan terdapat sedikit deposit kecil.







































			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 berwarna kecoklatan dengan deposit pada beberapa titik.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 dan 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih kecil tetapi lebih banyak dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 dan 2 berwarna kecoklatan disertai deposit di beberapa titik.</li> <li>• Permukaan bawah replika 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih kecil dan sedikit dari permukaan bawah replika 1 dan 2.</li> </ul>
50ml <i>crude Oil</i> + 10ml SRB lingkungan anaerob	45 hari	1x	 

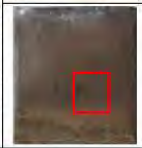










	100x	     	<p>Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengondisian Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permukaan atas replika 1 berwarna kecoklatan dengan deposit pada beberapa titik.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 dan 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih kecil tetapi lebih banyak dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 berwarna kecoklatan disertai beberapa deposit kecil.</li> <li>• Permukaan bawah replika 2 dan 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih besar dan banyak dari permukaan bawah replika 1.</li> </ul>
--	------	--	--

50ml <i>crude Oil</i> + 10ml SRB lingkungan anaerob	60 hari						1x						
							50x						
							100x						
								<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengondisian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 dan 3 dan memiliki deposit kecil tetapi banyak di beberapa titik.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih besar tetapi lebih sedikit dari permukaan atas replika 1 dan 3.</li> </ul>					



















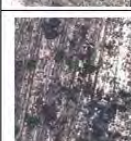


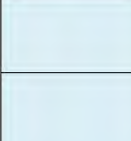






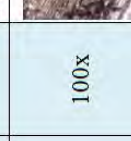
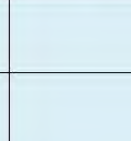
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permukaan bawah replika 1 memiliki deposit besar dan sedikit.</li> <li>• Permukaan bawah replika 2 memiliki deposit kecil dan banyak.</li> <li>• Permukaan bawah replika 3 memiliki deposit yang lebih kecil dan sedikit dari permukaan bawah replika 1 dan 2..</li> </ul>					
30ml <i>crude Oil</i> + 30ml SRB lingkungan anaerob	15 hari	1x						
		50x						
		100x						
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang</li> </ul>					

			<p>berwarna hitam pada beberapa bagian.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permukaan atas replika 1 berwarna kecoklatan dengan deposit besar.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 dan 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih kecil tetapi lebih banyak dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 dan 2 berwarna kecoklatan disertai deposit yang cukup besar di beberapa titik.</li> <li>• Permukaan bawah replika 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih kecil dan sedikit dari permukaan bawah replika 1 dan 2.</li> </ul>
30ml <i>crude Oil</i> + 30ml SRB lingkungan anaerob	30 hari	1x	     
		50x	     
		100x	     













	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 berwarna kecoklatan dengan deposit yang hampir sama besar dengan permukaan atas replika 2 dan 3 pengkondisian 15 hari.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 dan 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih kecil dan sedikit dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 dan 2 memiliki beberapa deposit kecil tetapi banyak.</li> <li>• Permukaan bawah replika 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih besar dan banyak dari permukaan bawah replika 1 dan 2.</li> </ul>						
30ml <i>crude Oil</i> + 30ml SRB lingkungan anaerob	45 hari	1x					
	50x						


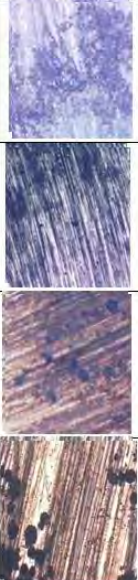
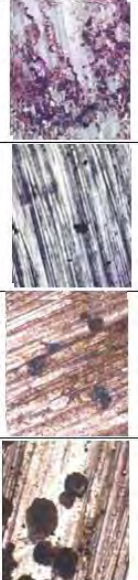




		100x						
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 memiliki deposit kecil dan banyak di beberapa titik.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 dan 3 berwarna kecoklatan. Terdapat deposit yang lebih besar tetapi sedikit dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 memiliki deposit besar dan beberapa deposit kecil.</li> <li>• Permukaan bawah replika 2 dan 3 memiliki deposit yang lebih kecil dari permukaan bawah replika 1 dan 2.</li> </ul>					
30ml <i>crude Oil</i> + 30ml SRB	60 hari	1x						
lingkungan anaerob								





										
50x										
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 dan 3, terdapat deposit kecil tetapi banyak di beberapa titik</li> <li>• Permukaan atas replika 2 deposit lebih besar dari permukaan atas replika 1 dan 3.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1, 2, dan 3 memiliki deposit yang banyak dengan letak yang berdekatan.</li> </ul>								















30ml <i>crude Oil</i> + 30ml SRB lingkungan aerob	15 hari	1x				
		50x				
		100x				
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 memiliki beberapa deposit.</li> </ul>				

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih kecil dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 memiliki deposit yang banyak dengan letak yang berdekatan.</li> <li>• Permukaan bawah replika 2 memiliki deposit yang lebih kecil dan sedikit dari permukaan bawah replika 1</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan</li> </ul>
	1x	50x	100x	
	30 ml <i>crude Oil</i> + 30 ml SRB 30 hari			
	lingkungan aerob			

		<p>oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengondisian.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan disertai deposit.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 memiliki beberapa deposit besar.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih kecil dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 memiliki deposit yang lebih kecil dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 2 memiliki deposit yang banyak dengan letak yang berdekatan.</li> </ul>
30ml <i>crude Oil</i> + 30ml SRB lingkungan aerob	1x	
	50x	


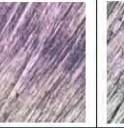
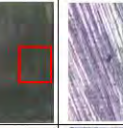
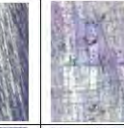


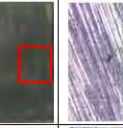
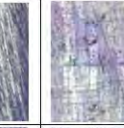

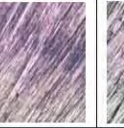

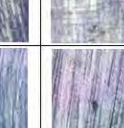
	100x	   
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 memiliki beberapa deposit kecil dan banyak.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih besar dari permukaan atas replika 1 dengan letak yang berdekatan.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 dan 2 memiliki deposit yang lebih besar dan sedikit dari permukaan atas replika 1.</li> </ul>




1x				
50x				
100x				
60 hari				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 memiliki deposit besar.</li> </ul>				

	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih kecil dari permukaan atas replika 1.</li><li>• Permukaan bawah replika 1 memiliki deposit kecil dengan letak yang berdekatan.</li><li>• Permukaan bawah replika 2 memiliki deposit yang lebih kecil dan sedikit dari permukaan bawah replika 1.</li></ul>















Tabel 4.2 Data pengamatan visual spesimen di media tanpa penambahan SRB

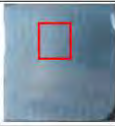





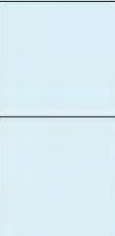
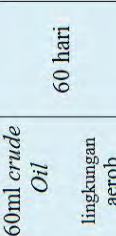

Media	Waktu	Perbesaran	Replika ke-			
			1		2	
			Permukaan atas	Permukaan bawah	Permukaan atas	Permukaan bawah
60ml <i>crude Oil</i> lingkungan anaerob	30 hari	1x				
		50x				
		100x				
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap</li> </ul>			

<p>pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas dan bawah replika 1 memiliki beberapa deposit kecil.</li> <li>• Permukaan atas dan bawah replika 2 memiliki deposit yang lebih banyak dari replika 1.</li> </ul>			
	1x	60 hari	60ml <i>crude Oil</i> lingkungan anaerob
	50x		
	100x		



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 memiliki deposit yang lebih besar dan banyak dari pengkondisian 30 hari.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih kecil dan sedikit dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 dan 2 memiliki deposit yang lebih kecil tetapi banyak dari permukaan atas replika 1 dan 2.</li> </ul>
60ml <i>crude Oil</i> lingkungan aerob	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">     </div>

	50x				
	100x				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li> <li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li> <li>• Permukaan atas replika 1 memiliki beberapa deposit kecil.</li> <li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih besar tetapi sedikit dari permukaan atas replika 1.</li> <li>• Permukaan bawah replika 1 memiliki deposit yang lebih besar dan banyak dari permukaan atas replika 1.</li> </ul>					

<p>lebih besar dan banyak dari permukaan atas replika 1.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permukaan bawah replika 2 memiliki deposit yang lebih besar tetapi lebih sedikit dari permukaan bawah replika 1.</li> </ul>			
1x			
60 hari			
60ml <i>crude Oil</i> lingkungan aerob			

			<ul style="list-style-type: none"><li>• Terdapat perbedaan antara permukaan spesimen sebelum dan setelah pengkondisian yang ditunjukkan oleh adanya bagian yang berwarna terang dan gelap pada permukaan spesimen setelah pengkondisian.</li><li>• Pada perbesaran 50x dan 100x, permukaan spesimen berwarna kecoklatan, dengan disertai deposit yang berwarna hitam pada beberapa bagian.</li><li>• Permukaan atas replika 1 memiliki beberapa deposit.</li><li>• Permukaan atas replika 2 memiliki deposit yang lebih banyak dari permukaan atas replika 1.</li><li>• Permukaan bawah replika 1 memiliki deposit yang lebih besar dari permukaan atas replika 1.</li><li>• Permukaan bawah replika 2 memiliki deposit yang lebih kecil tetapi lebih banyak dari permukaan atas replika 1.</li></ul>
--	--	--	---

#### 4.1.2 Pembahasan Data Pengamatan Visual Spesimen

Perbedaan yang terjadi sebelum dan setelah pengkondisian terlihat dari perubahan warna pada permukaan spesimen (tabel 4.1 dan tabel 4.2). Perubahan tersebut sudah terlihat sejak 15 hari pengkondisian. Permukaan spesimen berwarna kecoklatan dengan disertai deposit berwarna hitam. Deposit hitam yang muncul pada permukaan spesimen merupakan magnetite dan besi sulfida (Jones, 1996). Besi sulfida hadir akibat reaksi antara ion  $\text{Fe}^{2+}$  dari spesimen dengan ion  $\text{S}^{2-}$  hasil metabolisme SRB. Fenomena ini juga terjadi dalam penelitian Didi (2011), dimana terdapat deposit pada permukaan baja yang merupakan produk dari korosi sumuran.

Pada media tanpa penambahan SRB, permukaan spesimen yang dikondisikan selama 60 hari memiliki deposit lebih banyak dari pengkondisian 30 hari. Hal ini menunjukkan bahwa *crude oil* mengandung SRB aktif yang terus melakukan metabolisme. Untuk waktu pengkondisian yang sama, deposit yang muncul di media anaerob, lebih banyak dengan ukuran lebih kecil dibandingkan dengan media aerob. Ini menunjukkan bahwa SRB lebih cepat tumbuh di lingkungan anaerob.

Untuk waktu pengkondisian yang sama, pada permukaan spesimen di media tanpa penambahan SRB, muncul deposit yang lebih kecil dan sedikit dari spesimen yang berada di media dengan penambahan SRB. Pada permukaan spesimen dengan penambahan 10ml SRB, deposit yang muncul lebih sedikit dengan ukuran lebih kecil dari deposit pada media yang ditambahkan 30ml SRB. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah bakteri yang berada di media, kerusakan yang terjadi di permukaan spesimen semakin parah, yang ditunjukkan oleh semakin banyak deposit yang muncul. Pada media dengan penambahan SRB, deposit lebih banyak muncul pada permukaan spesimen di lingkungan anaerob dibandingkan lingkungan aerob. Hal ini menunjukkan SRB lebih cepat tumbuh dan berkembang di lingkungan anaerob. Untuk media dengan penambahan SRB, deposit lebih sedikit pada 15 hari

pengkondisian dibandingkan 30 hari pengkondisian. Deposit muncul semakin banyak pada pengkondisian 45 hari, dan deposit semakin banyak pada 60 hari pengkondisian. Ini menunjukkan bahwa SRB yang ditambahkan ke dalam media, tumbuh dan melakukan metabolisme.

## 4.2 Perhitungan Jumlah Korosi Sumuran

Perhitungan jumlah korosi sumuran pada spesimen digunakan untuk mengetahui tingkat pertumbuhan korosi sumuran. Pengamatan ini dilakukan berdasarkan ASTM G46, *Standard Practice for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion* dengan metode *visual inspection*. Pengamatan dilakukan pada permukaan spesimen secara langsung di bawah cahaya atau dengan cara mengambil foto permukaan spesimen setelah pengkondisian kemudian membandingkannya dengan foto permukaan spesimen sebelum pengkondisian.

### 4.2.1 Data Pengamatan Jumlah Korosi Sumuran

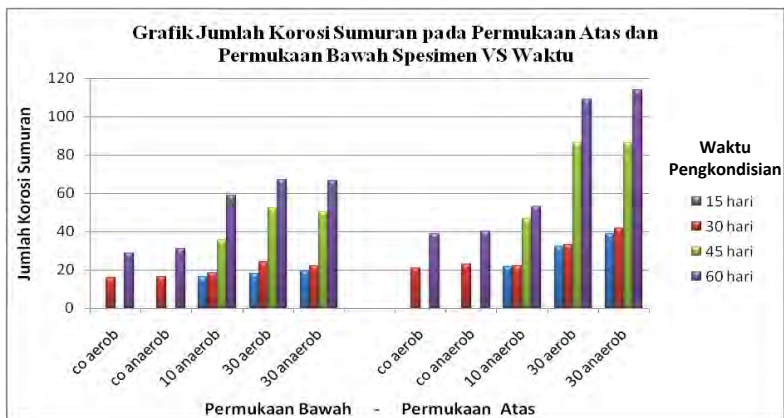
Tabel 4.3 Data pengamatan jumlah korosi sumuran

Media	Replika ke-	Jumlah korosi sumuran pada permukaan spesimen							
		15 hari		30 hari		45 hari		60 hari	
		atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah	atas	bawah
50ml <i>crude oil</i> + 10ml SRB lingkungan anaerob	1	16	14	15	18	32	32	39	63
	2	26	18	26	19	51	32	54	58
	3	23	17	25	19	57	43	66	56
	Rata-rata	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>19</b>	<b>47</b>	<b>36</b>	<b>53</b>	<b>59</b>
30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB lingkungan anaerob	1	48	19	35	23	78	30	113	63
	2	43	18	41	24	101	69	111	73
	3	26	21	49	19	80	52	118	64
	Rata-rata	<b>39</b>	<b>19</b>	<b>42</b>	<b>22</b>	<b>86</b>	<b>50</b>	<b>114</b>	<b>67</b>
30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB	1	29	18	24	17	62	54	99	50
	2	36	18	42	31	110	51	119	84
	Rata-rata	<b>32</b>	<b>18</b>	<b>33</b>	<b>24</b>	<b>86</b>	<b>52</b>	<b>109</b>	<b>67</b>

lingkungan aerob	rata								
60ml crude oil	1			18	14			48	30
	2			28	19			32	32
lingkungan anaerob	Rata-rata	-	-	23	16	-	-	40	31
60ml crude oil	1			17	12			43	34
	2			25	20			35	23
lingkungan aerob	Rata-rata	-	-	21	16	-	-	39	28

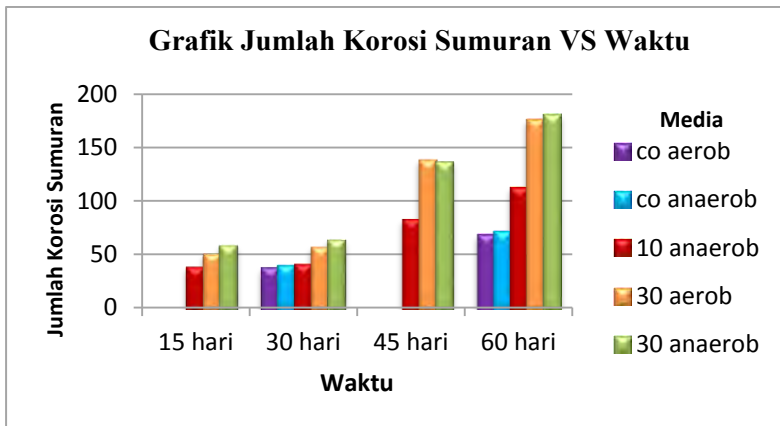
#### 4.2.2 Pembahasan Data Perhitungan Jumlah Korosi Sumuran

Korosi sumuran merupakan daerah yang mengalami deposit. Dari tabel 4.3, dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya waktu pengkondisian, jumlah korosi sumuran pada masing-masing media pengkondisian semakin banyak. Terdapat perbedaan tingkat pertumbuhan korosi sumuran pada permukaan atas dan permukaan bawah spesimen. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.2 yang memuat grafik pertumbuhan korosi sumuran pada permukaan atas dan permukaan bawah spesimen di masing-masing media pengkondisian.



Gambar 4.2 Grafik jumlah korosi sumuran pada permukaan atas dan permukaan bawah spesimen sebagai fungsi waktu

Berdasarkan gambar 4.2, korosi sumuran lebih cepat tumbuh dan berkembang pada permukaan atas dibandingkan dengan permukaan bawah spesimen. Hal tersebut dilihat dari jumlah deposit yang lebih banyak pada permukaan atas dibandingkan permukaan bawah spesimen pada waktu pengkondisian yang sama. Hal itu dikarenakan korosi sumuran lebih cepat tumbuh pada arah yang sama dengan gravitasi (Fontana, 1986). Selain perbedaan letak, tingkat pertumbuhan korosi dipengaruhi oleh media pengkondisian, yang dituangkan dalam gambar 4.3, yaitu grafik jumlah korosi sumuran sebagai fungsi waktu.



Gambar 4.3 Grafik jumlah korosi sumuran sebagai fungsi waktu

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa korosi sumuran muncul pada permukaan spesimen di media *crude oil* tanpa penambahan SRB. Hal ini menunjukkan bahwa *crude oil* merupakan media yang mendukung terjadinya korosi sumuran. Pada pengkondisian selama 60 hari, korosi sumuran yang muncul lebih banyak dari pengkondisian 30 hari. Ini menunjukkan bahwa *crude oil* mendukung pertumbuhan korosi sumuran. Untuk waktu pengkondisian yang sama, lingkungan anaerob menghasilkan korosi sumuran yang lebih banyak dari



lingkungan aerob, yang menunjukkan bahwa korosi sumuran lebih banyak tumbuh di lingkungan anaerob.

Untuk waktu pengkondisian yang sama, korosi sumuran lebih banyak terjadi di media *crude oily* yang ditambahkan SRB dibandingkan *crude oil* tanpa penambahan SRB. Pada media dengan penambahan 30ml SRB, jumlah korosi sumuran lebih banyak dari media yang ditambahkan 10ml SRB. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak SRB pada media, menghasilkan korosi sumuran yang semakin banyak.






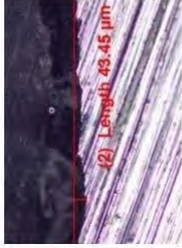


Begitu juga pada pengkondisian selama 30 hari, 45 hari, dan 60 hari dengan peningkatan jumlah korosi sumuran yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak SRB yang ditambahkan pada media *crude oil*, menghasilkan korosi sumuran yang terjadi semakin banyak. Pada media dengan penambahan SRB, korosi sumuran lebih banyak muncul di lingkungan anaerob dibandingkan lingkungan aerob. Hal ini menunjukkan korosi sumuran lebih banyak tumbuh di lingkungan anaerob. Untuk media dengan penambahan SRB, jumlah korosi sumuran lebih sedikit pada 15 hari pengkondisian dibandingkan 30 hari pengkondisian. Jumlah korosi sumuran mengalami peningkatan pada 45 hari dan semakin bertambah pada 60 hari pengkondisian. Ini menunjukkan korosi sumuran mengalami pertumbuhan pada *crude oily* yang ditambahkan SRB.









### **4.3 Pengukuran Kedalaman Korosi Sumuran**

Pengukuran kedalaman korosi sumuran dilakukan berdasarkan ASTM G46, *Standard Practice for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion* dengan metode *Metallographic Examination*. Pengamatan dilakukan dengan cara memotong bagian yang diperkirakan mengalami korosi sumuran yang paling parah dan mengambil foto mikro pada penampang melintangnya. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat kedalaman korosi sumuran yang terjadi. Berikut adalah data pengukuran kedalaman korosi sumuran spesimen.

### 4.3.1 Data Pengukuran Kedalaman Korosi Sumuran Spesimen

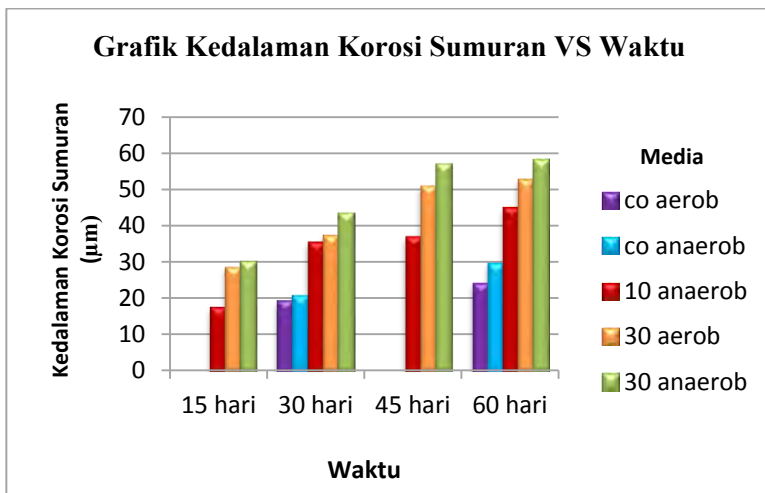
Tabel 4.4 Data pengukuran kedalaman korosi sumuran spesimen

Media	Hasil pengamatan			
	15 hari	30 hari	45 hari	60 hari
50ml <i>crude oil</i> + 10ml SRB lingkungan anaerob	 (1) Length: 17,27 $\mu\text{m}$ 17,27 $\mu\text{m}$	 (4) Length: 35,28 $\mu\text{m}$ 35,28 $\mu\text{m}$	 (1) Length: 36,75 $\mu\text{m}$ 36,75 $\mu\text{m}$	 (4) Length: 44,84 $\mu\text{m}$ 44,84 $\mu\text{m}$
30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB lingkungan anaerob	 (3) Length: 30,14 $\mu\text{m}$ 30,14 $\mu\text{m}$	 (2) Length: 43,45 $\mu\text{m}$ 43,45 $\mu\text{m}$	 (4) Length: 56,96 $\mu\text{m}$ 56,96 $\mu\text{m}$	 (4) Length: 58,17 $\mu\text{m}$ 58,17 $\mu\text{m}$

<p>30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB lingkungan aerob</p>	 <p>(1) Length 28.30 µm 28,30 µm</p>	 <p>(4) Length 37.12 µm 37,12 µm</p>	 <p>(4) Length 50.72 µm 50,72 µm</p>	 <p>(4) Length 52.55 µm 52,55 µm</p>
<p>60ml <i>crude oil</i> lingkungan anaerob</p>	<p>-</p>	 <p>(4) Length 20.58 µm 20,58 µm</p>	<p>-</p>	 <p>(4) Length 29.40 µm 29,40 µm</p>
<p>60ml <i>crude oil</i> lingkungan aerob</p>	<p>-</p>	 <p>(4) Length 19.11 µm 19,11 µm</p>	<p>-</p>	 <p>(4) Length 23.89 µm 23,89 µm</p>

#### 4.3.2 Pembahasan Data Pengukuran Kedalaman Korosi Sumuran Spesimen

Data hasil pengamatan kedalaman korosi sumuran pada spesimen (tabel 4.4) diukur dari batas atas penampang melintang spesimen. Terdapat perbedaan tingkat pertumbuhan kedalaman korosi sumuran pada masing-masing media pengkondisian. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.4 yang memuat grafik kedalaman korosi sumuran di masing-masing media pengkondisian.



Gambar 4.4 Grafik kedalaman korosi sumuran sebagai fungsi waktu

Berdasarkan gambar 4.4, semakin lama waktu pengkondisian, kedalaman korosi sumuran semakin meningkat. Pada media *crude oil* tanpa penambahan SRB, pengkondisian selama 60 hari menghasilkan korosi sumuran yang lebih dalam dari 30 hari. Hal ini menunjukkan bahwa *crude oil* adalah media yang mendukung pertumbuhan korosi sumuran. Lingkungan anaerob pada media *crude oil* menghasilkan korosi sumuran yang lebih dalam dari lingkungan aerob pada

waktu pengkondisian yang sama, ini menunjukkan bahwa korosi sumuran tumbuh lebih cepat di lingkungan anaerob.

Untuk waktu pengkondisian yang sama, *crude oil* yang ditambahkan SRB mengalami korosi sumuran yang lebih dalam dari *crude oil* tanpa penambahan SRB. Media dengan penambahan 30ml SRB menghasilkan korosi sumuran yang lebih dalam dari media yang ditambahkan 10ml SRB. Maka disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah SRB pada media, memperparah korosi sumuran yang terjadi, dengan menghasilkan korosi sumuran yang semakin dalam. Media dengan penambahan 30ml SRB di lingkungan anaerob, menghasilkan korosi sumuran yang lebih dalam dari lingkungan aerob pada waktu pengkondisian yang sama. Ini menunjukkan bahwa korosi sumuran lebih cepat tumbuh di lingkungan anaerob dibandingkan lingkungan aerob.

#### **4.4 Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen**

Uji senyawa produk korosi dilakukan di laboratorium SEM dan XRD, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi dengan metode *X Ray Diffraction* menggunakan mesin *X Ray Diffractometer*. Produk korosi yang diuji berasal dari deposit yang berada pada permukaan spesimen setelah pengkondisian. Berikut adalah data hasil pengujian senyawa produk korosi spesimen.

#### 4.4.1 Data Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen

Tabel 4.5 Data Senyawa Produk Korosi

Media	Waktu	Hasil Pengujian			
		15 hari	30 hari	45 hari	60 hari
50ml <i>crude oil</i> + 10ml SRB lingkungan anaerob	10 anaerob	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	Iron Hydroxide Sulfate Hydrate	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	Ammonium Iron Sulfate Hydrate
		$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_5$	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}^{+2}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB lingkungan anaerob	30 anaerob	Iron Sulfide	Iron Sulfate Hydrate	Ammonium Iron Sulfate	Iron Sulfate Hydroxide Hydrate
		FeS	$\text{FeSO}_4(\text{H}_2\text{O})_4$	$(\text{NH}_4)_3\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$	$\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_5$
30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB lingkungan aerob	30 aerob	Iron Sulfide	Ammonium Iron Sulfate	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Iron Sulfate Hydroxide Hydrate</li> <li>• Iron Sulfide</li> </ul>
		FeS	$\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>(\text{Fe}_2\text{Fe})(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_{0.5}(\text{H}_2\text{O})_3</math>.</li> <li>85</li> <li>• FeS</li> </ul>
60ml <i>crude oil</i> lingkungan anaerob	co anaerob	-	Ammonium Iron Sulfate	-	Ammonium Iron Sulfate Hydrate
			$\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$		$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
60ml <i>crude oil</i> lingkungan aerob	co aerob	-	Ammonium Iron Sulfate	-	Ammonium Iron Sulfate Hydrate
			$\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$		$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

#### 4.4.2 Pembahasan Data Senyawa Produk Korosi pada Lapisan Permukaan Spesimen

Produk korosi dari pengujian (tabel 4.5) dihasilkan dari reaksi yang terjadi antara spesimen dengan lingkungan. Spesimen, dalam hal ini adalah baja karbon rendah melepaskan ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan berikatan dengan senyawa lain di media sehingga membentuk produk korosi. Produk korosi yang dihasilkan di masing-masing media, berbeda pada setiap waktu pengkondisian.

Pada spesimen di media *crude oil* tanpa penambahan SRB, ion  $\text{Fe}^{2+}$  bereaksi dengan senyawa yang berada di *crude oil* membentuk produk korosi. *Crude oil* mengandung beberapa unsur, yaitu karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur (Jentsch, 1975). Unsur tersebut dapat berikatan satu sama lain dan membentuk senyawa, misalnya  $\text{NH}_4$  dari nitrogen dan hidrogen, OH dari oksigen dan hidrogen,  $\text{SO}_4$  dari sulfur dan oksigen,  $\text{O}_2$  dan  $\text{O}_3$  yang merupakan senyawa oksigen, dan  $\text{H}_2\text{O}$  dari hidrogen dan oksigen. Pada spesimen di media *crude oil* tanpa penambahan SRB yang dikondisikan pada waktu yang sama, produk korosi yang dihasilkan sama. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan *crude oil* aerob dan anaerob menghasilkan produk korosi yang sama pada waktu pengkondisian yang sama. Pada media yang sama untuk rentang waktu yang berbeda, produk korosi yang dihasilkan berbeda. Ini menunjukkan bahwa lama waktu pengkondisian menghasilkan produk korosi yang berbeda.

Untuk waktu pengkondisian yang sama, *crude oil* yang ditambahkan SRB menghasilkan produk korosi yang berbeda dengan media tanpa penambahan SRB. Media dengan penambahan 30ml SRB menghasilkan produk korosi yang berbeda dengan media penambahan 10ml SRB. Maka disimpulkan bahwa jumlah SRB pada media menghasilkan produk korosi yang berbeda. Media dengan penambahan 30ml SRB di lingkungan anaerob, menghasilkan produk korosi yang berbeda dengan lingkungan aerob pada waktu pengkondisian yang sama, kecuali pada pengkondisian 60 hari. Ini menunjukkan lingkungan anaerob

dan aerob dengan penambahan SRB menghasilkan produk korosi yang berbeda.

Sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 2.3(Senyawa kimia produk korosi besi dan kelarutannya dalam air dingin) (Lide, 1991 ; Linke, 1958), beberapa produk korosi yang terbentuk adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6 Produk korosi pada lingkungan hidroksida, sulfat, dan sulfida

Lingkungan	Reaksi	Produk Korosi
Hidroksida (OH <sup>-</sup> )	Fe $\rightarrow$ Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> (oksidasi)	
	O <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O + 4e <sup>-</sup> $\rightarrow$ 4OH <sup>-</sup> (reduksi)	
	3Fe <sup>2+</sup> + 6OH <sup>-</sup> $\rightarrow$ 3Fe(OH) <sub>2</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>
	2Fe <sup>2+</sup> + 6OH <sup>-</sup> $\rightarrow$ 2Fe(OH) <sub>3</sub>	Fe(OH) <sub>2</sub>
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Fe $\rightarrow$ Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> (oksidasi)	
	2O <sub>2</sub> + S + 2e <sup>-</sup> $\rightarrow$ SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (reduksi)	
	H <sub>2</sub> O $\rightarrow$ H <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup> (reduksi)	
	6Fe <sup>2+</sup> + 12SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> $\rightarrow$ Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
	Fe <sup>2+</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + H <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup> $\rightarrow$ Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O
	6Fe <sup>2+</sup> + 12SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 9H <sup>+</sup> + 9OH <sup>-</sup> $\rightarrow$ Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·9H <sub>2</sub> O
Sulfida (S <sup>2-</sup> )	Fe $\rightarrow$ Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> (oksidasi)	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 10H <sup>+</sup> + 2e <sup>-</sup> $\rightarrow$ H <sub>2</sub> S + 4H <sub>2</sub> (reduksi)	
	H <sub>2</sub> S + 2e <sup>-</sup> $\rightarrow$ H <sub>2</sub> + S <sup>2-</sup> (reduksi)	
	Fe <sup>2+</sup> + S <sup>2-</sup> $\rightarrow$ FeS	FeS
	2Fe <sup>2+</sup> + S <sup>2-</sup> $\rightarrow$ FeS <sub>2</sub>	FeS <sub>2</sub>
	3Fe <sup>2+</sup> + 2S <sup>2-</sup> $\rightarrow$ FeS <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> S <sub>3</sub>

Adanya produk korosi berupa FeS pada data hasil uji (tabel 4.5) menunjukkan bahwa terdapat peran SRB pada korosi yang terjadi, karena FeS terbentuk dari ion Fe<sup>2+</sup> yang berikatan dengan S<sup>2-</sup> hasil metabolisme SRB. Produk korosi yang mengandung sulfat, seperti FeSO<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub> dan (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Fe(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O menunjukkan bahwa ion Fe<sup>2+</sup> berikatan dengan ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) yang belum direduksi oleh SRB menjadi H<sub>2</sub>S, sehingga pada kasus ini SRB belum berperan terhadap korosi. Pada produk korosi yang mengandung hidroksida (OH), merupakan reaksi yang melibatkan ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup>, dalam reaksi ini SRB tidak terlibat.



#### 4.5 Jumlah Bakteri

Pengamatan dan perhitungan jumlah bakteri dilakukan di laboratorium Limbah Padat dan B3, Jurusan Teknik Lingkungan ITS berdasarkan *Standard Methods 21<sup>st</sup> Edition Part 9000, Microbiological Examination*. Pada pengujian ini, sampel yang digunakan adalah *crude oil* yang menempel di permukaan spesimen setelah pengondisian. Sampel *crude oil* yang telah diencerkan, dicampurkan dengan media *nutrient agar* di dalam cawan petri, kemudian diinkubasi selama 24 jam. Setelah itu, dilakukan perhitungan bercak putih yang diindikasikan sebagai bakteri. Berikut adalah data pengamatan dan perhitungan bakteri pada masing-masing media spesimen.

##### 4.5.1 Data Jumlah Bakteri

Tabel 4.7 Data perhitungan jumlah bakteri pada media awal

	50ml <i>crude oil</i> + 10ml SRB	30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB	60ml <i>crude oil</i>
Jumlah Bakteri	$6 \times 10^{20}$	$2,2 \times 10^{21}$	$8,6 \times 10^9$
Jumlah Sampel (gr)	0,087	0,087	0,0542
<b>Jumlah Bakteri Total</b>	<b><math>6.896 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>25.287 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>0,0000016 \times 10^{15}</math></b>

Tabel 4.8 Data perhitungan jumlah bakteri setelah pengondisian

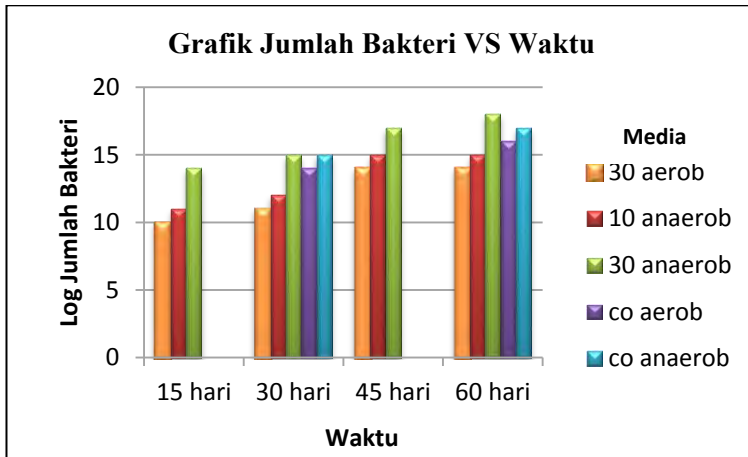
Data		15 hari	30 hari	45 hari	60 hari
50ml <i>crude oil</i> + 10ml SRB	Jumlah Bakteri	$3,1 \times 10^9$	$4,3 \times 10^{10}$	$4,7 \times 10^{13}$	$6 \times 10^{13}$
	Jumlah Sampel (gr)	0,018	0,045	0,028	0,0312
lingkungan anaerob	<b>Jumlah Bakteri Total</b>	<b><math>0,00017 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>0,00096 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>1,68 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>1,92 \times 10^{15}</math></b>

30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB	Jumlah Bakteri	$1,75 \times 10^{12}$	$8,3 \times 10^{13}$	$1,7 \times 10^{15}$	$1,2 \times 10^{17}$	
	Jumlah Sampel (gr)	0,0136	0,0624	0,0202	0,0348	
	<b>Jumlah Bakteri Total</b>	<b><math>0,13 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>1,33 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>84,16 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>3448,28 \times 10^{15}</math></b>	
lingkungan anaerob						
	30ml <i>crude oil</i> + 30ml SRB	Jumlah Bakteri	$5 \times 10^8$	$1,4 \times 10^9$	$2,3 \times 10^{12}$	$6 \times 10^{12}$
	Jumlah Sampel (gr)	0,0228	0,019	0,023	0,0333	
lingkungan aerob	<b>Jumlah Bakteri Total</b>	<b><math>0,000022 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>0,000074 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>0,10 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>0,18 \times 10^{15}</math></b>	
60ml <i>crude oil</i>	Jumlah Bakteri	-	$4,1 \times 10^{13}$	-	$1,32 \times 10^{16}$	
	Jumlah Sampel (gr)		0,0072		0,0265	
	<b>Jumlah Bakteri Total</b>		<b><math>5,69 \times 10^{15}</math></b>		<b><math>498,11 \times 10^{15}</math></b>	
lingkungan anaerob						
	60ml <i>crude oil</i>	Jumlah Bakteri	$1,7 \times 10^{13}$	-	$4,1 \times 10^{14}$	
	Jumlah Sampel (gr)	0,0255	0,043			
<b>Jumlah Bakteri Total</b>	<b><math>0,67 \times 10^{15}</math></b>	<b><math>9,54 \times 10^{15}</math></b>				
lingkungan aerob						

#### 4.5.2 Pembahasan Data Jumlah Bakteri

Dari data hasil perhitungan jumlah bakteri pada permukaan spesimen (tabel 4.8), dapat dilihat bahwa jumlah bakteri meningkat dari hari ke-15 sampai hari ke-60. Peningkatan jumlah

bakteri pada masing-masing media dapat dilihat pada gambar 4.5, grafik jumlah bakteri sebagai fungsi waktu.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan jumlah bakteri sebagai fungsi waktu

Berdasarkan gambar 4.5, pada permukaan spesimen di media *crude oil* tanpa penambahan SRB untuk waktu pengkondisian yang sama, jumlah bakteri lebih banyak di lingkungan anaerob dibandingkan lingkungan aerob. Ini menunjukkan bahwa SRB lebih cepat tumbuh dan berkembang di lingkungan anaerob. Secara umum, SRB merupakan bakteri anaerob *strict* (Beech et al., 2000; Brioukhanov et al., 2010). Namun, beberapa genus dari SRB mampu hidup dan berkembang pada lingkungan yang mengandung sedikit oksigen, salah satunya adalah *Desulfovibrio desulfuricans* (Abdollahi dan Wimpenny, 1990). Pada media pengkondisian aerob dan anaerob, permukaan spesimen yang dikondisikan selama 60 hari, menghasilkan jumlah bakteri lebih banyak daripada 30 hari. Ini menunjukkan bahwa SRB tumbuh dan berkembang di permukaan spesimen dengan media *crude oil*.

Pada waktu pengkondisian yang sama, permukaan spesimen di media tanpa penambahan SRB memiliki bakteri yang

lebih banyak atau hampir sama dengan permukaan spesimen di media tanpa penambahan SRB, kecuali pada media yang ditambahkan 30ml SRB untuk 60 hari pengkondisian. Hal ini menunjukkan bahwa SRB tumbuh lebih cepat pada *crude oil* yang merupakan lingkungan alaminya. Pada media dengan penambahan SRB, permukaan spesimen di *crude oil* yang ditambahkan 30 ml SRB memiliki jumlah bakteri yang lebih banyak dari penambahan 10ml SRB. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak SRB yang ditambahkan pada media, maka semakin banyak bakteri yang tumbuh di permukaan spesimen media tersebut. Pada media dengan penambahan 30ml SRB, permukaan spesimen di lingkungan anaerob menghasilkan jumlah bakteri yang lebih banyak dari lingkungan aerob untuk waktu pengkondisian yang sama. Ini menunjukkan bahwa SRB lebih cepat tumbuh dan berkembang di lingkungan anaerob.

#### **4.6 Sintesa dan Analisa**

*Crude oil* mengandung SRB aktif yang terus melakukan metabolisme. Aktivitas metabolisme tersebut mengakibatkan kerusakan pada logam. Akibat yang ditimbulkan adalah adanya perubahan warna pada permukaan spesimen disertai kemunculan korosi sumuran. Korosi sumuran lebih cepat tumbuh pada permukaan atas dibandingkan permukaan bawah spesimen, karena memiliki arah yang sama dengan gravitasi. Lingkungan *crude oil* aerob dan anaerob menghasilkan produk korosi yang sama pada waktu pengkondisian yang sama. Perbedaan waktu pengkondisian menghasilkan produk korosi yang berbeda pada spesimen di lingkungan *crude oil*.

Semakin banyak SRB yang ditambahkan pada media *crude oil*, maka semakin banyak bakteri yang tumbuh di permukaan spesimen. Dengan semakin banyak SRB yang hadir, kerusakan yang terjadi di permukaan spesimen semakin parah, korosi sumuran yang muncul semakin banyak dan semakin dalam. Perbedaan jumlah SRB pada media menghasilkan produk korosi yang berbeda.

Lingkungan anaerob memperparah korosi yang terjadi, karena SRB lebih cepat tumbuh dan berkembang di lingkungan anaerob dari lingkungan aerob. Hal ini dikarenakan SRB dengan genus *Desulfovibrio desulfuricans* merupakan bakteri anaerob fakultatif, yaitu bakteri yang dapat tumbuh dan berkembang secara optimal di lingkungan anaerob.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Pada *crude oil* tanpa penambahan SRB, korosi yang terjadi semakin parah pada waktu pengkondisian yang semakin lama. Lingkungan anaerob pada *crude oil* memperparah korosi yang terjadi. Pada waktu pengkondisian yang sama, komposisi produk korosi yang dihasilkan sama. Perbedaan waktu pengkondisian menghasilkan komposisi produk korosi yang berbeda.
2. Pada waktu pengkondisian yang sama, semakin banyak SRB yang ditambahkan pada media *crude oil*, maka semakin banyak bakteri yang tumbuh di permukaan spesimen. Dengan semakin banyak SRB yang hadir, kerusakan yang terjadi di permukaan spesimen semakin parah, korosi sumuran yang muncul semakin banyak dan semakin dalam. Perbedaan jumlah SRB pada media menghasilkan komposisi produk korosi yang berbeda.
3. Spesimen yang dikondisikan di lingkungan anaerob mengalami kerusakan yang lebih parah dari lingkungan aerob. Hal ini terjadi karena SRB lebih cepat tumbuh dan berkembang di lingkungan anaerob dari lingkungan aerob karena SRB merupakan bakteri anaerob fakultatif, yaitu bakteri yang dapat tumbuh dan berkembang secara optimal di lingkungan anaerob.
4. Korosi sumuran lebih cepat tumbuh pada permukaan atas dibandingkan permukaan bawah spesimen, karena memiliki arah yang sama dengan gravitasi.

#### **5.2 Saran**

Saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. *SRB* yang digunakan sebaiknya berbentuk koloni agar tidak terdapat zat lain yang bercampur dengan media *crude oil*.
2. Variasi media *crude oil* tanpa *SRB* (*SRB* dimatikan) dapat ditambahkan pada penelitian selanjutnya untuk mempelajari perbedaan yang terjadi.
3. Pengambilan sampel untuk produk korosi sebaiknya dilakukan dengan hati-hati.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahi, Hamid and Wimpenny, Julian W. T. 1990. *Effects of Oxygen on The Growth of Desulfovibrio desulfuricans*. Britain : Journal of General Microbiology (1990), 136, 1025-1030.
- ASM International. 2000. *The Effect and Economic Impact of Corrosion*. Ohio : ASM International
- ASM Handbook Vol. 13. 1987. *Metals Handbook, Ninth Edition: Volume 13 – Corrosion*. Ohio : ASM International
- ASM Handbook Vol.13 A. 2003. *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*. Ohio : ASM International
- Beech, Iwona.,Bergel, Alain., Flemming, Hans-Curt., Scotto, Vittoria., Sand, Wolfgang. 2000. *Simple Methods for The Investigation og the Role of Biofilms in Corrosion*. Brite Euram Thematic Network on MIC of Industrial Materials.
- Brenda & Jason, 2009.*Microbiologically Influenced Corrosion*. Arlington : Naval Research.
- Brioukhanov, A., Pieulle L., and Dolla, A. 2010. *Antioxidative Defense Systems of Anaerobic Sulfate-Reducing Microorganisms*. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology.
- Costello, J. A. 1974. *Cathodic Depolarization by Sufate-Reducing Bacteria*. South Afr. J. Sci. 70: 202-204.
- Didi, Masda. 2011. *Studi Awal Korosi Baja Karbon Rendah JIS G3101 Grade SS400 pada Lingkungan Aerob dan Anaerob di Dalam Media Crude Oil Dengan dan Tanpa Penambahan Bakteri Pereduksi Sulfat*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Fontana, Mars G. 1986. *Corrosion Engineering*. New York : McGraw-Hill Book Company.



- Hang, Dinh Thuy. 2003. *Microbiological Study of The Anaerobic Corrosion of Iron*. Bremen : Universitat Bremen.
- Jentsch. 1975. *Crude Oil Compound*.
- JIS Handbook. 1970. *Ferrous Materials And Metallurgy*. Japan Iron and Steel Exporter's Association.
- Jones, Denny A. 1996. *Principles and Prevention of Corrosion*. Nevada : Prentice-Hall, Inc.
- Kanematsu et al. 2013. *Evaluation for Corrosion Resistance of Nano-Cluster Layer and Biofilm Formation*. Japan : International Journal of Engineering Sciences & Research Technology.
- Lee, W., Z. Lewandowski, P. H. Nielsen, and W. A. Hamilton. 1995. *Role of Sulfate-Reducing Bacteria in Corrosion of Mild Steel ; a review*. Biofouling 8 : 165-194.
- Lide, D.R. 1991. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Boston : CRC Press
- Linke, W.F. *Solubilities of Inorganic and Metalorganic Compounds, Vol. 1, D*. Pricenton : Van Nostrand Company.
- Muthukumar et al. 1978. *Microbiologically Influenced Corrosion in Petroleum Product Pipelines*. Karaikudi : Indian Journal of Experimental Biology.
- Pacific Northwest National Laboratory. 2009. <https://www.flickr.com/photos/pnnl/sets/72157620546097292/detail/>
- Standard Methods 21<sup>st</sup> edition. 2005. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

# LAMPIRAN

## DATA UJI KANDUNGAN SULFUR



Certificate No. 00529/FOBOAI  
Date: January 15, 2015



Issuing Office:  
Jl. Jend. A. Yani. No. 315 Surabaya 60234, Indonesia  
Phone/Facs: +62 31 8470547/8470635  
Email: lab.surabaya@sucofindo.co.id

### REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : PUTRI IKA WAHYU R.J  
Keputih Perintis VI No. 10 Sukolilo  
Surabaya – Jawa Timur

THE FOLLOWING SAMPLE(S) WERE/ WAS SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS :

TYPE OF SAMPLE : CRUDE OIL  
TEST REQUIRED : Sulfur (S) content  
DATE OF RECEIVED : January 5, 2015  
DESCRIPTION OF SAMPLE : Form : Liquid  
Volume received : 500 ml (approx)  
Packing : Plastic bottle  
PERIOD OF ANALYSIS : January 5 up to 14, 2015

We have tested the sample(s) submitted and the following results were obtained :

Parameter	Unit	Result	Methods
Sulfur (S) content	%	0.14	ASTM D. 129

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at [www.sucofindo.co.id](http://www.sucofindo.co.id)

Dept. Of Testing & Eco Framework

SBL/1020/00006/01/2015  
AW/enk  
SBLB06201500006-01



1855649

SCI-2007A

---

## DATA PENGUKURAN PH



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

---

### DATA ANALISA CUPLIKAN

Dikirim Oleh : Putri Ika Wahyu R J  
Dikirim Tanggal : 23 Nopember 2014  
Sampel Dari : Crude Oil

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metode Analisa
1	pH	-	6,35	pHmeter

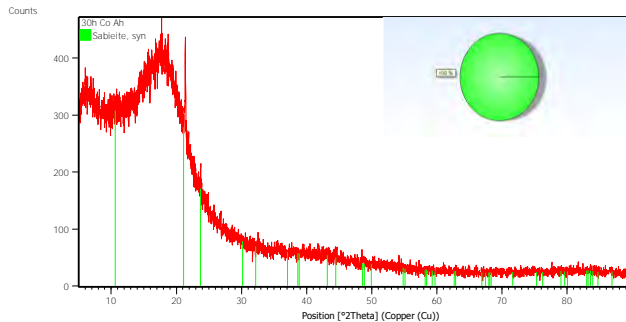
Surabaya, 23 Nopember 2014  
Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS



---

## DATA PENGUJIAN X RAY DIFFRACTION

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media crude oil anaerob dengan yang dikondisikan selama 30 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



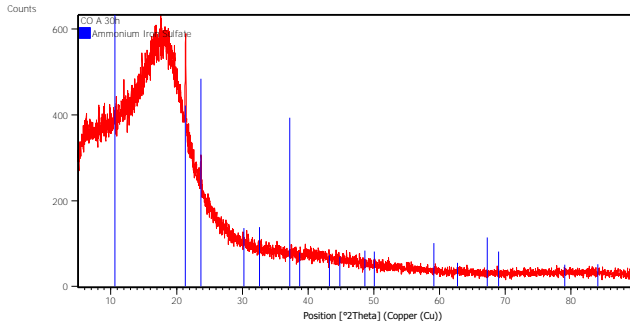
### **Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3664	168.35	0.0669	4.15872	100.00
23.7394	48.07	0.1004	3.74812	28.55
48.5930	6.81	0.6691	1.87367	4.05
57.2461	10.49	0.1673	1.60932	6.23

### **Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-024-0044	0	Ammonium Iron Sulfate	-0.065	0.005	NH <sub>4</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
*crude oil* aerob dengan yang dikondisikan selama 30 hari  
 Main Graphics, Analyze View: (Bookmark 2)**



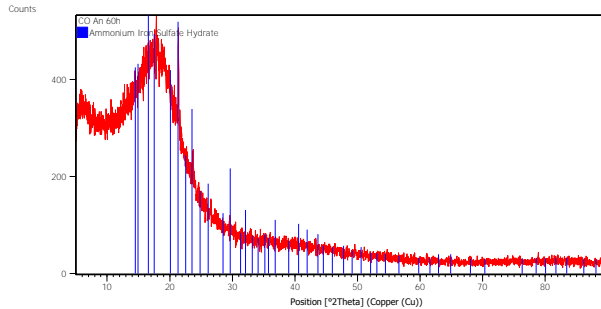
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.1831	26.49	0.2007	10.80490	12.20
21.3619	217.21	0.0836	4.15958	100.00
23.7410	68.33	0.1004	3.74786	31.46
77.9553	8.28	0.1338	1.22562	3.81

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-003-0035	3	Ammonium Iron Sulfate	-0.041	1.041	NH <sub>4</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media crude oil anaerob dengan yang dikondisikan selama 60 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



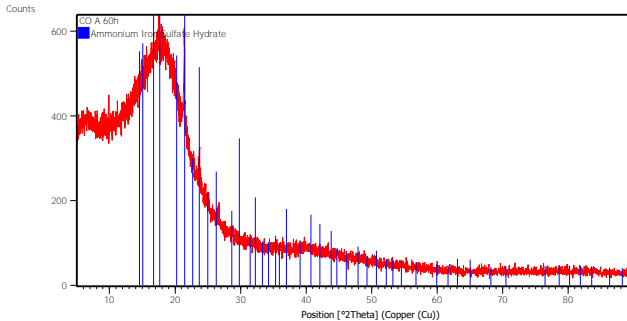
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.9023	33.57	0.8029	14.97423	17.65
21.3611	190.16	0.1004	4.15974	100.00
23.7548	54.87	0.1338	3.74572	28.86

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-001-0405	5	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	0.190	0.403	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil aerob dengan yang dikondisikan selama 60 hari  
Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



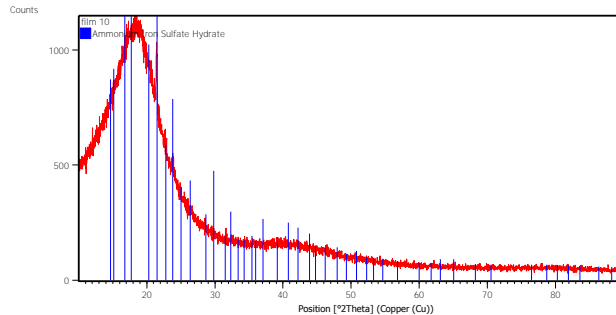
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3878	236.04	0.1004	4.15461	100.00
23.7456	83.90	0.1004	3.74715	35.54

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-001-0405	7	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	0.328	0.611	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil anaerob dengan penambahan 10 ml SRB yang  
dikondisikan selama 15 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



**Peak List:** (Bookmark 3)

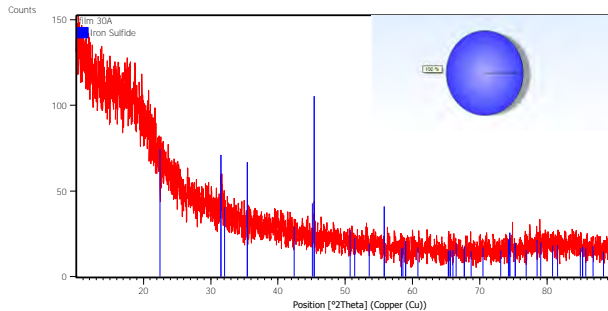
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4506	253.26	0.1338	4.14259	100.00
23.8120	61.94	0.2007	3.73686	24.46

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-001-0405	6	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	0.396	0.412	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O



**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil aerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 15 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



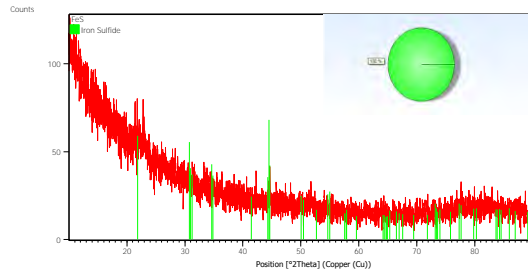
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
31.6203	11.82	0.4015	2.82964	100.00
45.4290	9.14	0.2007	1.99653	77.32

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-076-0965	12	Iron Sulfide	0.398	0.541	Fe S

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil anaerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 15 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.1614	19.25	0.1673	8.70537	100.00
21.3967	17.13	0.1338	4.15290	88.98
33.3066	8.74	0.4015	2.69013	45.42
34.5831	14.52	0.0502	2.59370	75.41
36.3664	6.09	0.4015	2.47051	31.61
41.6064	8.39	0.0669	2.17068	43.56
44.6789	15.49	0.0612	2.02661	80.48
48.0125	3.52	0.2007	1.89496	18.31
48.8849	2.41	0.0836	1.86316	12.51
53.1484	2.97	0.1338	1.72332	15.42
54.1161	2.38	0.6691	1.69476	12.37
58.6579	10.49	0.0612	1.57261	54.48
59.2847	2.95	0.6691	1.55876	15.35
63.7810	4.33	0.2007	1.45929	22.50
64.3113	5.47	0.2007	1.44853	28.40
68.8400	3.63	0.2007	1.36387	18.87
69.9034	3.25	0.3346	1.34571	16.86

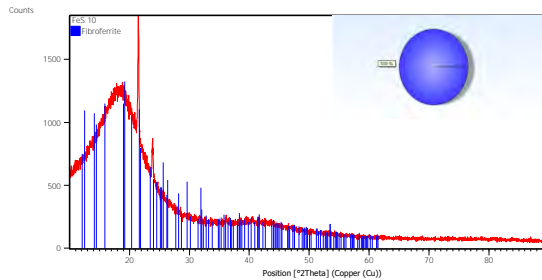
71.4076	6.62	0.1338	1.32101	34.40
82.4375	5.55	0.1338	1.16997	28.83

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-089-6268	1	Iron Sulfide	-0.081	0.371	Fe S

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media crude oil anaerob dengan penambahan 10 ml SRB yang dikondisikan selama 30 hari**

**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



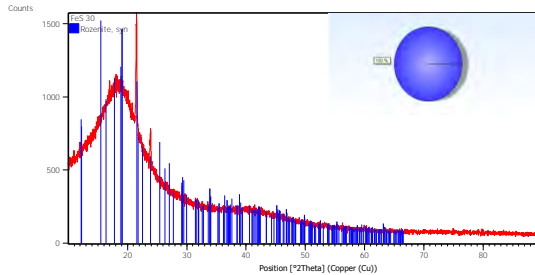
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18.9517	196.47	0.6691	4.68279	18.67
21.4748	1052.33	0.1506	4.13796	100.00
23.8858	267.43	0.1673	3.72546	25.41
36.1212	27.84	0.2007	2.48671	2.65
40.5007	29.28	0.4015	2.22735	2.78

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-083-1803	5	Iron Hydroxide Sulfate Hydrate	-0.169	0.975	Fe(OH)(SO <sub>4</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub>

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil anaerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 30 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



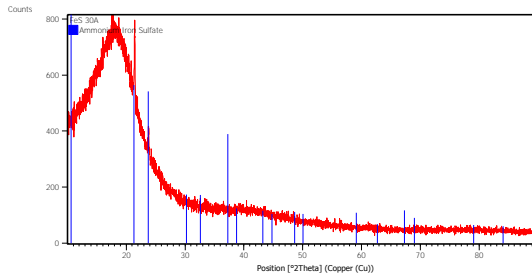
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
19.0690	164.93	0.8029	4.65425	19.11
21.5294	862.95	0.1673	4.12760	100.00
23.9139	228.99	0.1338	3.72116	26.54

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-076-0655	8	Iron Sulfate Hydrate	-0.698	0.348	FeSO <sub>4</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub>

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil aerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 30 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



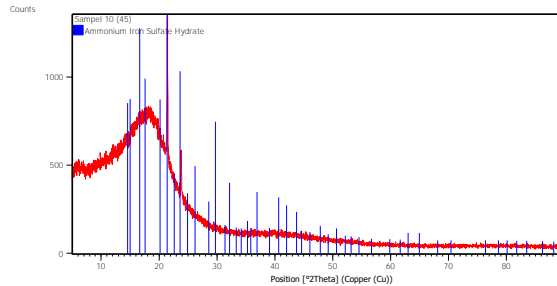
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4163	248.18	0.0836	4.14914	100.00
23.7631	92.22	0.0836	3.74443	37.16

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-003-0035	3	Ammonium Iron	-0.029	0.661	NH <sub>4</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil anaerob dengan penambahan 10 ml SRB yang  
dikondisikan selama 45 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



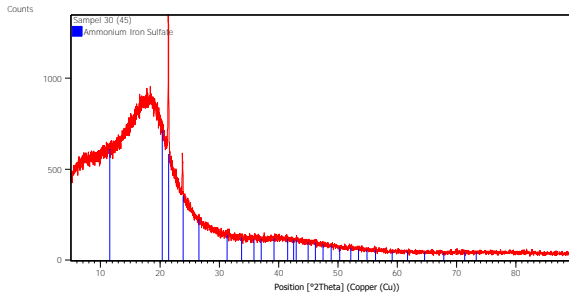
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.9753	36.30	0.8029	14.79141	4.54
21.4567	798.60	0.1171	4.14142	100.00
23.8089	250.09	0.1004	3.73733	31.32

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-001-0405	9	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	0.267	0.657	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil anaerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 45 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



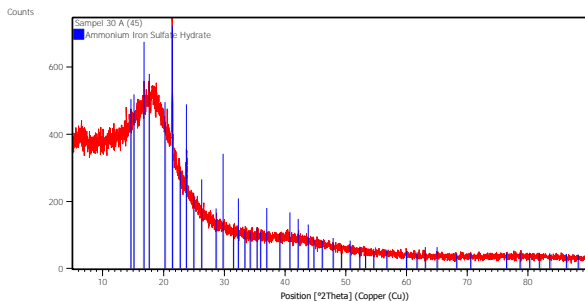
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4290	724.47	0.1004	4.14670	100.00
23.7870	221.99	0.0836	3.74072	30.64
36.0264	21.29	0.2676	2.49303	2.94

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-003-0043	No Matching Lines	Ammonium Iron Sulfate	-0.064	0.000	(NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil aerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 45 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



**Peak List:** (Bookmark 3)

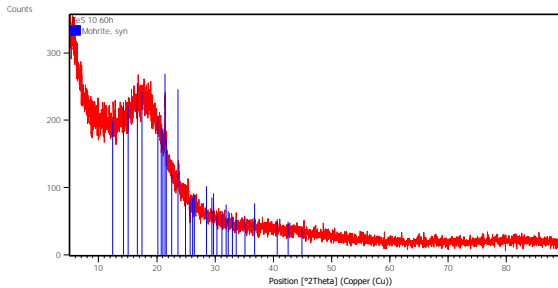
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4254	397.07	0.1004	4.14740	100.00
23.7819	116.43	0.0836	3.74151	29.32

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-001-0405	12	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	0.364	0.445	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O



**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil anaerob dengan penambahan 10 ml SRB yang  
dikondisikan selama 60 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



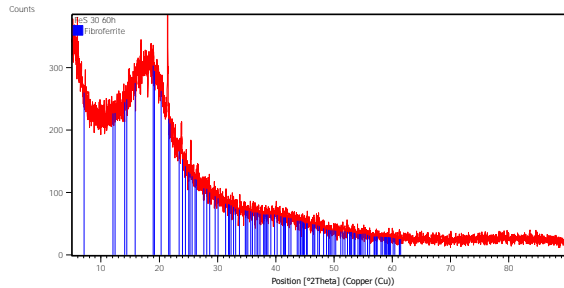
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4295	73.29	0.1004	4.14661	100.00
23.7183	15.60	0.4015	3.75141	21.28

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-018-0106	7	Ammonium Iron Sulfate Hydrate	0.232	0.393	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil anaerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 60 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



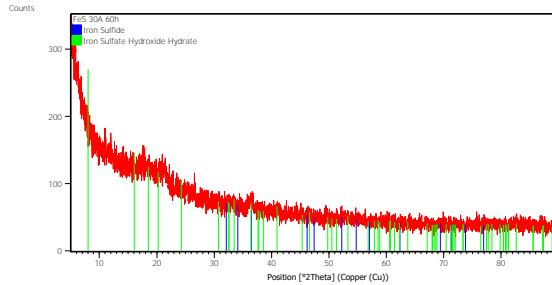
**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4338	164.63	0.0836	4.14580	100.00
23.8236	37.11	0.2007	3.73506	22.54
25.3850	21.73	0.4015	3.50875	13.20

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	01-076-6186	No Matching Lines	Iron Sulfate Hydroxide Hydrate	-0.231	0.000	Fe(OH)(SO <sub>4</sub> )(H <sub>2</sub> O) <sub>5</sub>

**Hasil analisa produk korosi di permukaan spesimen media  
crude oil aerob dengan penambahan 30 ml SRB yang  
dikondisikan selama 60 hari**  
**Main Graphics, Analyze View:** (Bookmark 2)



**Peak List:** (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
7.9742	22.25	0.0669	11.08748	100.00
22.2040	16.07	0.1338	4.00371	72.22
26.6137	11.52	0.2676	3.34949	51.79
36.5284	14.18	0.6691	2.45992	63.73
39.8288	2.67	0.3346	2.26336	12.00
46.2836	3.83	0.0669	1.96163	17.20
49.5803	15.55	0.0612	1.83712	69.90
53.8572	9.50	0.0836	1.70230	42.72
60.3736	6.24	0.0816	1.53196	28.04
60.5349	13.66	0.0816	1.52826	61.40
63.2869	3.40	0.4015	1.46948	15.27
67.2674	9.73	0.1020	1.39073	43.76
74.2122	2.19	0.6691	1.27788	9.83
82.6418	7.24	0.1632	1.16663	32.55
83.1011	2.26	0.0816	1.16423	10.18
83.8566	7.62	0.0408	1.15280	34.26

---

**Pattern List:** (Bookmark 4)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-049-1632	2	Iron Sulfide	0.319	0.000	Fe S
*	01-077-4367	5	Iron Sulfate Hydroxide Hydrate	-0.062	0.242	(Fe <sub>2</sub> Fe)(OH) <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>0.5</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>3.85</sub>

---

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Putri Ika Wahyu Retno Juwita ini lahir di Sidoarjo pada tanggal 9 Juni 1993. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan dan dibesarkan dalam keluarga kecil yang sederhana. Penulis mulai menuntut ilmu di SDN Pagerwojo I (1999-2005), selanjutnya ke SMP Negeri 5 Sidoarjo (2005-2008), meneruskan studi ke SMA Negeri 3 Sidoarjo (2008-2010), hingga pada akhirnya melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2010 dan mengambil Jurusan Teknik Mesin-FTI ITS. Di Jurusan Teknik Mesin penulis memilih Bidang Studi Metalurgi karena ketertarikannya pada bidang ini.

Dalam bidang akademik, penulis aktif menjadi grader dan asisten untuk laboratorium metalurgi serta grader untuk mata kuliah proses manufaktur. Pada bidang ilmiah, penulis aktif mengikuti kompetisi, diantaranya pada Program Kreativitas Mandiri (PKM) Mahasiswa 2012 serta memenangkan juara II pada kompetisi yang diselenggarakan oleh Masyarakat Ilmuwan dan Teknologi Indonesia (MITI) bertajuk MITI Paper Challenge 2011 tingkat regional dan juara III pada tingkat nasional untuk kompetisi yang sama. Pada tahun yang sama, penulis menjadi 5 besar finalis pada Lomba Karya Cipta Mahasiswa D3/S1 se-Indonesia yang diselenggarakan oleh Universitas Brawijaya. Juara II kembali diraih oleh penulis pada LKTI Tingkat Nasional Indonesian Youth Scientist Meeting yang diselenggarakan oleh Universitas Sultan Agung Tirtayasa pada tahun 2012. Dalam kegiatan kemahasiswaan, penulis aktif sebagai tim pemandu LKMM baik di Jurusan Teknik Mesin, sebagai pemandu LKMM TD, di fakultas sebagai pemandu LKMM pra-TD, maupun di

tingkat institut sebagai pemandu LKMM TM 2014 (Pemandu Merah Putih). Penulis berhasil mengikuti jenjang LKMM mulai dari LKMM pra-TD (manajemen diri), LKMM TD (manajemen kegiatan), LKMM TM (manajemen organisasi) hingga LKMM TL (manajemen massa). Penulis juga aktif di beberapa organisasi, diantaranya sebagai staf magang di kementerian Dalam Negeri BEM ITS 2011, mengisi posisi sekretaris di Pustaka Merah Putih (2011-2013) dan sebagai sekretaris departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa di Himpunan Mahasiswa Mesin Periode 2012-2013. Selain itu, penulis pernah menjadi Dewan Presidium Mesin pada 3 periode, yaitu periode 2011, periode 2012 dan periode 2013-2014. Beberapa posisi yang sempat ditempati penulis sebagai kontribusi pada kegiatan kampus adalah bendahara wisuda 104 Teknik Mesin ITS, *Chief of Ticketing Mechanical City* 2013, dan Bendahara Indonesia Energy Marathon Challenge (IEMC) 2013.

Cita-cita terbesar yang dimiliki oleh penulis adalah membahagiakan kedua orang tuanya dan memberikan kontribusi nyata untuk Indonesia.