



**TUGAS AKHIR – TL 141584**

**PENGARUH PH, KECEPATAN PUTARAN, DAN ASAM  
ASETAT TERHADAP KARAKTERISTIK  $CO_2$  CORROSION  
BAJA ASME SA 516 GRADE 70**

Faris Adham  
NRP 2712 100 120

Dosen Pembimbing :  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng.

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**



**FINAL PROJECT – TL 141584**

**THE EFFECT OF PH, ROTATIONAL SPEED, AND ACETIC  
ACID TO THE CHARACTERISTICS OF CO<sub>2</sub> CORROSION ON  
ASME SA 516 GRADE 70 STEEL**

Faris Adham  
NRP 2712 100 120

Advisor :  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng.

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016**

**PENGARUH PH, KECEPATAN PUTARAN, DAN  
ASAM ASETAT TERHADAP KARAKTERISTIK  $CO_2$   
CORROSION BAJA ASME SA516 GRADE 70**


**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi  
Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :  
Faris Adham  
NRP. 2712 100 120

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc.  Pembimbing 1

Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc. Eng.  Pembimbing 2



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH PH, LAJU PUTARAN, DAN ACETIC ACID  
TERHADAP KARAKTERISTIK CO<sub>2</sub> CORROSION PADA  
BAJA ASME 516 GR. 70**

**Nama Mahasiswa : Faris Adham**  
**NRP : 2712100120**  
**Jurusan : Teknik Material Metalurgi**  
**Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.**  
**Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng.**

**Abstrak**

Fenomena korosi merupakan sesuatu yang pasti terjadi pada setiap logam. Laju korosi dari suatu material dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu nilai pH lingkungan dan karakteristik aliran fluida yang kontak langsung dengan logam. Pada *oil and gas industry*, baja ASME SA 516 grade 70 sering digunakan sebagai material *flowline* dan banyak terjadi *CO<sub>2</sub> Corrosion*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi laju korosi material baja ASME SA 516 grade 70 yang mengandung CO<sub>2</sub>. Penelitian dilakukan dengan metoda *weight loss* menggunakan alat *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) selama 10 hari dan metode *Polarization* selama 1 jam. Selain itu digunakan pula XRD dan SEM guna mendukung data-data analisa. Pada penelitian ini digunakan media elektrolit NaCl 3,5% dengan kandungan CH<sub>3</sub>COOH sebesar 0 ppm dan 1500 ppm dengan variasi kecepatan putaran yaitu 0 RPM, 150 RPM, 300 RPM, dan 450 RPM pada pH 5 dan 6. Pada pengujian *polarization*, didapatkan hasil laju korosi tertinggi sebesar 9.9323 mm/y pada larutan CH<sub>3</sub>COOH 1500 ppm pH 5 dan kecepatan putar 450 RPM, sedangkan data dari pengujian *weight loss* sebesar 4.8795 mm/y. Hasil pengamatan SEM menunjukkan adanya perbedaan morfologi pada permukaan spesimen karena pengaruh kecepatan putaran. Kecepatan putaran mengakibatkan tergerusnya produk korosi oleh aliran. Pada pengujian XRD dengan menggunakan spesimen pH 5 dengan kandungan 0 ppm dan 1500 ppm 0 RPM

ditemukan  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan senyawa  $\text{FeOOH}$  sebagai produk korosi.

Kata kunci : *CO<sub>2</sub> Corrosion*, laju aliran, *Acetic Acid*, *Rotating Cylinder Electrode*, pH.

# THE EFFECT OF PH, ROTATIONAL SPEED, AND ACETIC ACID TO THE CHARACTERISTICS OF CO<sub>2</sub> CORROSION ON ASME SA 516 GRADE 70 STEEL

**Name** : Faris Adham  
**NRP** : 2712100120  
**Department** : Teknik Material Metalurgi  
**Advisor/co. Advisor** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Dr. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng.

## Abstract

*The corrosion phenomenon is something bound to happen on any metal. The corrosion rate of a material is affected by several factors such as the values of the pH and fluid flow characteristics. In oil and gas industry, ASME SA-516 grade 70 steel used as the material for the flowlines and lots of CO<sub>2</sub> Corrosion occurs. This research aims characterized corrosion rate of the ASME SA-516 grade 70 steel which contains CO<sub>2</sub>. This research used weight loss method with the Rotating Cylinder Electrode (RCE) for 10 days and Polarization method for 1 hour. While XRD and SEM is used to support data analysis. In this research used electrolyte 3,5% NaCl with CH<sub>3</sub>COOH contents of 0 ppm and 1500 ppm with the variation of the rotational speed i.e. 0 RPM, 150 RPM, 300 RPM, and 450 RPM, and at pH 5 and 6 in 10 mm diameter and 10 mm thick specimens specimens. Polarization testing result show the highest corrosion rate was 9.9323 mm/y on 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH pH 5 solution with rotational speed 450 RPM, and from weight loss 10 days the result was 4,8795 mm/y. SEM observations showed a difference on morphology of surface of the specimen due to the influence of the speed rotation. Rotational speed caused abrasion of the corrosion products by the flow. XRD testing using pH 5 electrolyte solution with 0 ppm and 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH, 0 RPM found FeCO<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub> and FeOOH as corrosion products.*

*Keyword: CO<sub>2</sub> Corrosion, characteristic of corrosion, Acetic Acid, Rotating Cylinder Electrode, pH.*



## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS yang berjudul:

### **“PENGARUH pH, KECEPATAN PUTARAN, DAN PENAMBAHAN ASAM ASETAT TERHADAP KARAKTERISTIK $CO_2$ CORROSION PADA BAJA ASME SA516 GRADE 70”**

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Purwanto Sasongko dan Ibu Hari Mulyati yang selalu ada di belakang penulis, mendukung penulis, dan memberikan semua support berupa moral dan material kepada penulis.
2. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan, wawasan kepada penulis.
3. Bapak Lukman Noerochim, ST., M.Sc.Eng., Ph.D selaku dosen co-pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Diah Susanti, ST., M.T. selaku Dosen Wali penulis pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

6. TOTAL E&P INDONESIA yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menjalankan *On Job Trainee Program* sehingga penulis mendapatkan inspirasi dalam pencarian *case* yang ada di lapangan untuk judul Tugas Akhir ini.
7. *Society of Petroleum Engineers ITS Student Chapter* (SPE-ITS-SC) yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk dapat bergabung dan mengembangkan diri dan teman-teman didalamnya yang terus memberikan semangatnya, membantu penulis untuk mendapatkan inspirasi di bidang *oil and gas industry* seperti apa yang diinginkan oleh penulis.
8. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Teman-teman MT 14 yang selalu membantu penulis dengan baik.
10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2016

Faris Adham

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	2
I.3 Batasan Masalah .....	2
I.4 Tujuan Penelitian .....	3
I.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>II.1 Korosi dan Mekanisme Korosi</b> .....	<b>5</b>
II.1.1 Jenis-Jenis Korosi .....	7
<b>II.2 Korosi CO<sub>2</sub></b> .....	<b>11</b>
II.2.1 Mekanisme Korosi CO <sub>2</sub> .....	12
<b>II.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi CO<sub>2</sub></b> .....	<b>14</b>
II.3.1 pH .....	14
II.3.2 Laju Aliran Fluida .....	15
II.3.3 Tekanan Parsial CO <sub>2</sub> .....	16
II.3.4 Pengaruh acetic acid (CH <sub>3</sub> COOH) .....	18
<b>II.4 Laju Korosi</b> .....	<b>20</b>
<b>II.5 Perhitungan Laju Korosi</b> .....	<b>20</b>
II.5.1 Metode Weight Loss .....	20
II.5.2 Metode Polarisation Tafel .....	22
<b>II.6 Penelitian Sebelumnya</b> .....	<b>24</b>

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
<b>III.1 Diagram Alir Penelitian</b> .....	<b>25</b>
<b>III.2 Prosedur Penelitian</b> .....	<b>26</b>
III.2.1 Metode Penelitian .....	26
III.2.2 Alat .....	26
III.2.3 Bahan .....	27
III.2.4 Preparasi Alat .....	27
III.2.5 Preparasi Sample .....	28
III.2.6 Pembuatan Larutan Uji .....	29
<b>III.3 Pengujian-pengujian</b> .....	<b>30</b>
III.3.1 Pengujian pH larutan .....	30
III.3.2 Pengujian Laju Korosi (Polarization) .....	30
III.3.3 Pengujian weight loss .....	33
III.3.4 Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD) .....	34
III.3.5 Pengujian SEM .....	35
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
<b>IV.1 Hasil Penelitian</b> .....	<b>36</b>
IV.1.1 Hasil Pengamatan Visual .....	36
IV.1.2 Hasil Pengujian <i>Polarization</i> .....	37
IV.1.3 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i> .....	47
IV.1.4 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	54
IV.1.5 Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	56
<b>IV.2 Pembahasan</b> .....	<b>59</b>
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
<b>V.1 Kesimpulan</b> .....	<b>66</b>
<b>V.2 Saran</b> .....	<b>66</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Reaksi Evolusi Hidrogen pada Asam .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Korosi Uniform .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Korosi sumuran dan bentuk-bentuknya .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Skema korosi erosi .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Korosi kavitasasi .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Skema fretting .....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Korosi galvanik .....	11
<b>Gambar 2.8</b>	Mekanisme Korosi CO <sub>2</sub> .....	14
<b>Gambar 2.9</b>	Grafik hubungan laju aliran dengan laju korosi CO <sub>2</sub> .....	16
<b>Gambar 2.10</b>	Grafik pengaruh tekanan parsial CO <sub>2</sub> terhadap laju korosi baja karbon .....	17
<b>Gambar 2.11</b>	Ellingham Diagram .....	18
<b>Gambar 2.12</b>	Skema kurva polarisasi yang menunjukkan ekstrapolasi Tafel .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir .....	27
<b>Gambar 3.2</b>	(A) Alat RCE; (B) <i>micro controller</i> pengatur kecepatan putar .....	30
<b>Gambar 3.3</b>	Spesimen <i>Rotating Cylinder Electrode</i> .....	31
<b>Gambar 3.4</b>	Rangkaian alat .....	33
<b>Gambar 3.5</b>	Pembacaan nilai pH 5 pada pH meter .....	34
<b>Gambar 3.6</b>	Skema Alat Pengujian Polarisasi .....	34
<b>Gambar 3.7</b>	Mesin XRD Pan Analytical .....	37
<b>Gambar 3.8</b>	Alat Pengujian SEM Inspect S50 .....	38
<b>Gambar 4.1</b>	Foto visual larutan Elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 0 ppm dan 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH pada pH 5 dan 6 setelah pengujian <i>Weight Loss</i> selama 10 hari .....	39

<b>Gambar 4.2</b>	Foto makro ASME SA516 gr 70 setelah pengujian <i>Weight Loss</i> pada larutan Elektrolit 3,5% NaCl yang mengandung 0 ppm dan 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH pada pH 5 dan pH6 .....	40
<b>Gambar 4.3</b>	Kurva Polarisasi E <i>versus Current Density</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	41
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Polarization</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	42
<b>Gambar 4.5</b>	Kurva Polarisasi E <i>versus Current Density</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	43
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Polarization</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	44
<b>Gambar 4.7</b>	Kurva Polarisasi E <i>versus Current Density</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	45
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Polarization</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	46
<b>Gambar 4.9</b>	Kurva Polarisasi E <i>versus Current Density</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	47
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Polarization</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	48
<b>Gambar 4.11</b>	Perbandingan <i>Corrosion Rate</i> pada variasi pH, kecepatan putar, dan penambahan CH <sub>3</sub> COOH menggunakan metode <i>Polarization</i> .....	49

<b>Gambar 4.12</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Weight Loss</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	50
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Weight Loss</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	51
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Weight Loss</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	52
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik <i>Corrosion Rate Weight Loss</i> Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	52
<b>Gambar 4.16</b>	Perbandingan <i>Corrosion Rate</i> pada variasi pH, kecepatan putar, dan penambahan CH <sub>3</sub> COOH menggunakan metode <i>Weight Loss</i> .....	53
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik <i>tren corrosion rate</i> terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	54
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik <i>tren corrosion rate</i> terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	54
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik <i>tren corrosion rate</i> terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	55
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik <i>tren corrosion rate</i> terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	55
<b>Gambar 4.21</b>	Hasil Uji SEM ASME SA516 gr 70 setelah Pengujian <i>Weight Loss</i> pada pH 5 (A) 0RPM; 500x (B) 450RPM; 500x (C) 0RPM; 2000x (D) 450RPM; 2000x .....	57

<b>Gambar 4.22</b>	Hasil XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 1500 ppm dan 0 ppm CH <sub>3</sub> COO .....	58
<b>Gambar 4.23</b>	Hasil XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	59
<b>Gambar 4.24</b>	Hasil XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH .....	60



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Daya larut gas CO <sub>2</sub> .....	12
<b>Tabel 2.2</b>	Karakteristik <i>Acetic Acid</i> .....	19
<b>Tabel 2.3</b>	Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi .....	20
<b>Tabel 2.4</b>	Konstanta Laju Korosi .....	21
<b>Tabel 3.1</b>	Skema Tipe Pengujian .....	32
<b>Tabel 3.2</b>	Parameter Pengujian <i>Polarization</i> .....	35
<b>Tabel 4.1</b>	Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	41
<b>Tabel 4.2</b>	Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	43
<b>Tabel 4.3</b>	Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	45
<b>Tabel 4.4</b>	Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	47
<b>Tabel 4.5</b>	Data Pengujian <i>Weight Loss</i> .....	50
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil Analisa <i>peak</i> pengujian XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% dengan kandungan 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	59
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil Analisa <i>peak</i> pengujian XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% dengan kandungan 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH.....	61

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

Selain itu penulis selama menjadi mahasiswa juga aktif dalam beberapa organisasi. Pada tahun kedua penulis masuk dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Material Metalurgi FTI ITS (HMMT FTI ITS) sebagai Staff Departemen Dalam Negeri pada periode 2013/2014. Pada tahun ketiga, penulis diamanahi sebagai Wakil Kepala Departemen Dalam Negeri HMMT FTI ITS 2014/2015 dan mulai mencoba untuk aktif di dalam *Society of Petroleum Engineers* Institut Teknologi Sepuluh Nopember *Student Chapter* (SPE ITS SC). Pada tahun terakhir, yaitu tahun keempat penulis diamanahi sebagai *Head of Logistic Division* SPE ITS SC.

Pada masa perkuliahan penulis sempat mengikuti beberapa perlombaan ilmiah tentang ilmu Teknik Material dan Metalurgi dan berhasil mendapatkan *Fourth Place* Metalloscope 2014 yang diadakan oleh Mahasiswa Teknik Material ITB di Bandung dan terakhir *Third Winner* Metalloscope 2015 yang diadakan oleh Perhimpunan Mahasiswa Teknik Metalurgi Material se-Indonesia (PM3I). Selain itu penulis sempat mendapatkan Beasiswa Pemerataan Potensi Akademik (PPA) yang diadakan oleh Direktorat Pendidikan Tinggi selama 2 tahun berturut-turut pada tahun ajaran 2013/2014 dan 2014/2015.

Penulis dapat dihubungi melalui nomer telepon 0821 666 55 234 / 0888 0974 0234 atau bisa menghubungi lewat alamat email [farisadham234@live.com](mailto:farisadham234@live.com).

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Sumber daya alam berupa Gas merupakan salah satu sumber daya yang sangat potensial. Gas alam dapat menjadi energy alternative untuk menggantikan bahan bakar berupa minyak yang keberadaannya semakin menipis. Sementara itu, kegunaan dari gas alam saat ini telah dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik ataupun keperluan industry, bahkan rumah tangga.

Cadangan sumber daya alam tersebut di Indonesia sendiri masih sangat besar, hal ini dibuktikan dengan banyaknya sumur-sumur baru yang telah dieksplorasi, dan masih banyak lagi sumur-sumur yang belum tereksplorasi. Berdasarkan status tahun 2008, potensi gas bumi yang ada di Indonesia dapat mencapai 170 TSCF dan produksi per tahun hanya 2,87 TSCF, melihat dari komposisi tersebut *reserve to production* (R/P) dapat mencapai 59 tahun. Hal tersebut disampaikan oleh Direktur Pembinaan Hulu Ditjen Migas Kementerian ESDM, Edy Hermantoro, (2012).

Pemanfaatan sumber daya gas membutuhkan suatu proses eksplorasi dan produksi yang harus aman dan tidak mengenyampingkan masalah kelestarian lingkungan sekitar. Dalam dunia *oil and gas* mempunyai beberapa masalah dalam hal proses pengolahan, salah satunya dalam hal maintenance maupun inspeksi dari peralatan yang terdapat dalam proses itu. Masalah ini dapat disebabkan karena adanya degradasi pada material yang digunakan akibat adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungan atau biasa disebut sebagai korosi.

Proses korosi pada umumnya tidak dapat dihentikan karena merupakan suatu proses alami yang akan terjadi saat suatu logam-logam mengalami kontak dengan lingkungannya. Ini akan menyebabkan berkurangnya nilai logam secara teknis dan penurunan kualitas logam yang akan mengakibatkan berkurangnya umur logam (*lifetime*) dari material logam tersebut.



Sebagai contohnya adalah pada Baja ASME SA516 grade 70 yang banyak digunakan pada industri *oil and gas*.

Dalam *oil and gas industry*, gas CO<sub>2</sub> merupakan gas yang termasuk cukup banyak terkandung di dalamnya, baik berasal dari hasil pengolahan maupun dari sumur. Kandungan CO<sub>2</sub> pada dasarnya jika berada dalam fasa gas tidak terlalu berbahaya terhadap material yang dipakai sebagai penyalur. Namun, pada proses pengolahan terdapat interaksi antara gas CO<sub>2</sub> dengan H<sub>2</sub>O menyebabkan penipisan (*internal thinning*) pada material yang sering dikenal sebagai korosi CO<sub>2</sub> (*CO<sub>2</sub> Corrosion*). Korosi CO<sub>2</sub> ini merupakan masalah utama yang biasa dijumpai pada industri pengolahan gas alam.

Selain CO<sub>2</sub>, terdapat juga pengotor berupa CH<sub>3</sub>COOH yang dapat menyebabkan korosi. Ion CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> dari CH<sub>3</sub>COOH akan berkompetisi dengan ion CO<sub>3</sub><sup>-</sup> untuk mendapatkan ion Fe<sup>2+</sup>. Produk korosi dari adanya CO<sub>2</sub> mengendap pada permukaan material dasar yang dapat bersifat menekan laju korosi. Sedangkan produk korosi dari CH<sub>3</sub>COOH diduga larut pada elektrolit yang akan berakibat menaikkan nilai laju korosi tersebut.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Permasalahan yang menjadi bahasan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan putaran dan pH terhadap laju korosi Baja ASME SA516 grade 70 pada lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub>?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *acetic acid* (CH<sub>3</sub>COOH) terhadap karakteristik dan laju korosi Baja ASME SA516 grade 70 pada lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub>?



### **I.3 Batasan Masalah**

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Kondisi permukaan pada tiap-tiap sample dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Temperatur dan volume larutan selama pengujian dianggap tetap.

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukanya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa pengaruh adanya kecepatan putar dan pH terhadap laju korosi Baja ASME SA516 grade 70 pada lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub>.
2. Menganalisa pengaruh penambahan *acetic acid* (CH<sub>3</sub>COOH) terhadap karakteristik dan laju korosi Baja ASME SA516 grade 70 pada lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub>.

### **I.5 Manfaat Penelitian**

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sebagai sumber informasi yang dapat melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya mengenai studi laju korosi terhadap CO<sub>2</sub> corrosion menggunakan *Rotating Cylinder Electrode* dengan metode *weight loss*.
2. Memberikan inspirasi dan motivasi bagi peneliti lain agar dapat terus mengembangkan studi ketahanan suatu material terhadap *CO<sub>2</sub> corrosion*.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Korosi dan Mekanisme Korosi**

Korosi didefinisikan sebagai degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lain dan lingkungan (Jones, 1996). Akibat adanya reaksi korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Dalam bidang metalurgi, peristiwa korosi dapat dipandang sebagai suatu peristiwa atau reaksi senyawa kembali ke bentuk asalnya atau bisa disebut sebagai kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi.

Peristiwa korosi terjadi akibat adanya reaksi kimia dan elektrokimia. Namun, untuk terjadinya peristiwa korosi terdapat beberapa elemen utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung. Elemen-elemen utama yang dapat menyebabkan korosi terdiri dari material, lingkungan, kontak metalik, dan elektrolit. (Fontana, 1986)

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu material akan bersifat sebagai anoda. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang akan mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron, dan senyawa logam tersebut ion berubah menjadi ion-ion bebas. Suatu lingkungan akan bersifat sebagai katoda dikarenakan adanya elektron bebas hasil reaksi oksidasi anoda yang memancing terjadinya reaksi pada katoda. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah, dan minyak.

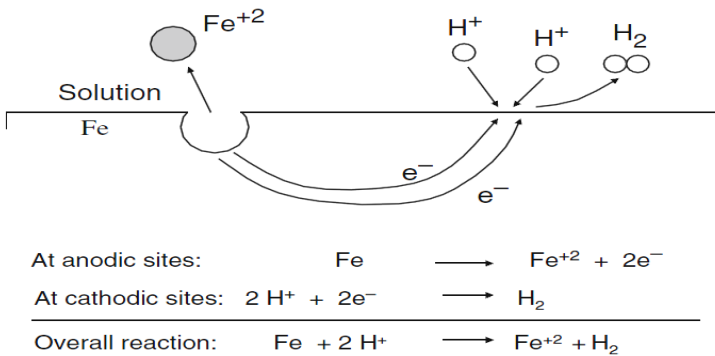
Adanya reaksi antara suatu material dengan lingkungannya merupakan suatu persyaratan yang sangat penting dalam terjadinya suatu peristiwa korosi. Reaksi korosi hanya akan terjadi jika terdapat hubungan atau kontak langsung antara material dan lingkungan. Akibat adanya hubungan tersebut, akan terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara spontan. Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan





melengkapi sirkuit elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung.

Reaksi korosi logam melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Reaksi katoda dan anoda yang terjadi dalam proses korosi adalah sebagai berikut (Jones, 1996).



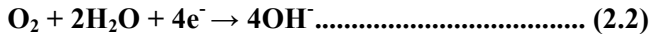
**Gambar 2.1** Reaksi evolusi hidrogen pada asam  
(McCafferty,2009)

Pada gambar 2.1 dijelaskan mekanisme reaksi korosi. Oksigen adalah salah satu penyebab terjadinya korosi. Selain pada udara, oksigen dapat ditemukan pada air. Baja dan paduannya merupakan material yang paling banyak diaplikasikan untuk lingkungan air. Reaksi korosi yang terjadi pada baja di lingkungan air adalah:

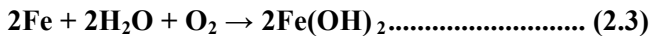




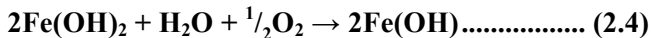
Karena air mengalami kontak dengan atmosfer sehingga mengandung oksigen yang terlarut. Air biasanya bersifat netral, sehingga reaksi katodik yang terjadi adalah reduksi oksigen.



Secara keseluruhan, reaksi yang terjadi adalah:



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



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



$\text{Fe}(\text{OH})_2$  merupakan endapan berwarna hijau atau hijau kehitaman, sedangkan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  merupakan endapan berwarna coklat kemerahan (Mario, 2010).

### **II.1.1 Jenis-Jenis Korosi**

Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi teragi menjadi beberapa macam, diantaranya adalah korosi merata (*uniform corrosion*), korosi galvanic (*galvanic corrosion*), korosi celah (*crevice corrosion*), korosi sumuran (*pitting corrosion*), korosi batas butir



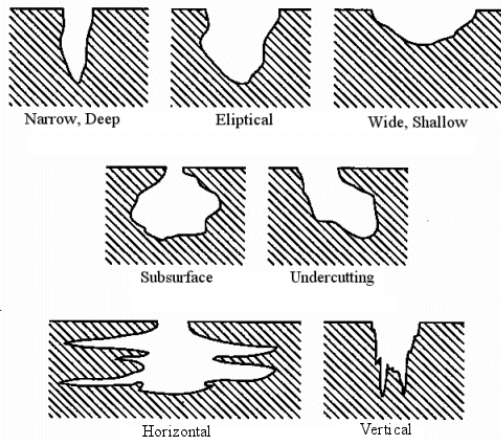
(*intergranular corrosion*), korosi erosi (*erosion corrosion*), *fretting*, *dealloying*, *hydrogen damaged* dan *environmentally induced corrosion* (Jones, 1996)

Jenis-jenis korosi yang terjadi pada suatu material dapat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan sekitar. Jenis korosi yang umum terjadi diantaranya sebagai berikut. (Aziz, 2011)



**Gambar 2.2.** Korosi uniform (API 571)

Korosi uniform yang ditunjukkan pada gambar 2.2 merupakan jenis korosi yang diharapkan terjadi pada logam. Pada korosi uniform, dapat memprediksi umur pakai dari suatu peralatan. Pada korosi jenis ini, lingkungan korosif harus memiliki akses yang sama terhadap seluruh permukaan logam. Karakteristik utama dari korosi uniform adalah jenis reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi pada permukaan logam berjalan secara seragam pada semua permukaan yang terekspos pada lingkungan.

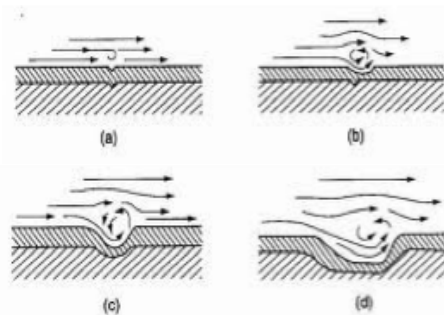


**Gambar 2.3.** Korosi sumuran dan bentuk-bentuknya. (API 571)

Pada korosi sumuran yang ditunjukkan gambar 2.3, area anoda pada permukaan logam terlokalisasi pada suatu tempat sehingga korosi yang terjadi hanya pada daerah tersebut. Seluruh gaya pendorong (*driving force*) korosi terkonsentrasi pada daerah anoda sehingga laju korosi terjadi lebih cepat dibandingkan dengan laju korosi permukaan logam secara keseluruhan.

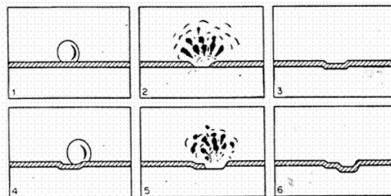
Korosi sumuran merupakan korosi yang paling sering menyerang logam dengan keadaan permukaan:

1. Mengalami kerusakan lapisan protektif (lapisan pasif) akibat perlakuan mekanik maupun kimia.
2. Memiliki cacat bentuk yang diakibatkan oleh dislokasi atau slip akibat tegangan tarik.
3. Memiliki komposisi kimia yang heterogen.
4. Adanya inklusi, segregasi, atau presipitasi.



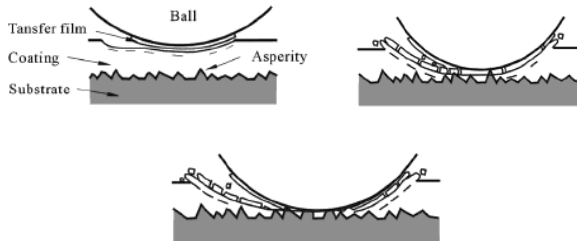
**Gambar 2.4.** Skema korosi erosi. (API 571)

Korosi erosi yang ditunjukkan gambar 2.4 terjadi akibat pergerakan relatif antara fluida korosif dengan permukaan logam. Pada umumnya, pergerakan yang terjadi cukup cepat, sehingga terjadi efek keausan mekanis atau abrasi. Pergerakan yang cepat dari fluida korosif mengerosi secara fisik dan menghilangkan lapisan pasif. Pasir dan padatan lumpur mempercepat korosi erosi.



**Gambar 2.5.** Korosi kavitasi.

Cavitation yang ditunjukkan merupakan salah satu jenis korosi erosi. Cavitation disebabkan oleh pecahnya gelembung udara yang dihasilkan karena perubahan tekanan disepanjang permukaan yang terekspose fluida dengan kecepatan tinggi. Ledakan menghasilkan ledakan bertekanan yang sangat tinggi yang mengganggu lapisan film dan bisa mengeluarkan partikel dari logamnya.



Gambar 2.6. Skema *fretting* (API 571)

Gambar 2.6 merupakan skema korosi *fretting*. *Fretting* juga merupakan salah satu jenis dari korosi erosi. Erosi disebabkan oleh pergerakan yang berulang, bisa juga dari getaran, antara logam dan padatan yang lainnya.



Gambar 2.7. Korosi galvanic (API 571)

Gambar 2.7 merupakan skema korosi galvanic. Korosi galvanic adalah korosi yang terjadi apabila dua logam yang berbeda potensialnya saling terhubung secara elektrik, atau terhubung dalam suatu elektrolit. Logam yang memiliki potensial lebih mulia (lebih positif dalam deret galvanik) akan menjadi katoda, sedangkan logam yang kurang mulia (lebih negatif dalam deret galvanik) menjadi anoda. Pada akhirnya korosi pada anoda terjadi lebih cepat, dan korosi di katoda akan terhambat atau bahkan berhenti (laju korosi mendekati nol).

## II.2 Korosi CO<sub>2</sub>

Korosi CO<sub>2</sub> merupakan korosi yang diakibatkan oleh CO<sub>2</sub> yang terlarut di dalam air yang akan menimbulkan lingkungan yang bersifat asam (*sweet environment*). (Wahyuadi, 2010)



Gas CO<sub>2</sub> ini tidak bersifat korosif jika berada dalam keadaan kering dan tidak terlarut dalam air. CO<sub>2</sub> yang terlarut di dalam air akan membentuk asam karbonat (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) yang merupakan senyawa asam lemah yang sangat mudah terurai. Penguraian senyawa asam karbonat ini akan memicu terjadinya reaksi oksidasi pada material yang berada pada lingkungan tersebut. Korosi CO<sub>2</sub> ini sangat banyak ditemukan pada material material yang digunakan pada proses produksi dan eksplorasi minyak bumi dan gas alam.

Dalam produksi gas dan minyak, CO<sub>2</sub> merupakan salah satu faktor utama penyebab korosi internal. Karbon dioksida lebih dapat larut dibandingkan gas lainnya di air murni dan menjadi asam karbonat yang mempunyai pH di bawah 6 dimana serangan asam menjadi dominan. Lingkungan asam yang ditimbulkan dari korosi CO<sub>2</sub> ini mengakibatkan laju korosi material yang berada pada lingkungan ini lebih besar. Selain itu, kelarutan gas CO<sub>2</sub> dalam air juga lebih tinggi. Hal ini juga mengakibatkan laju korosi material pada lingkungan yang mengandung CO<sub>2</sub> lebih besar. Kemampuan daya kelarutan gas CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Daya larut gas CO<sub>2</sub>

Temperature (C°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
CO <sub>2</sub> (g/L)	3.36	2.35	1.72	1.31	1.04	0.86	0.71		

### **II.2.1 Mekanisme Korosi CO<sub>2</sub>**

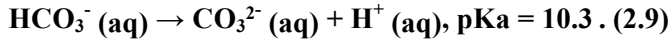
Secara umum, CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam air akan terhidrasi dan pada tahapan selanjutnya akan membentuk senyawa asam karbonat dengan reaksi sebagai berikut: (landiano, 2010)



Asam karbonat terbentuk akan terdisosiasi menjadi *bicarbonate* dan ion karbonat melalui 2 tahap, dimana setiap tahapan akan menghasilkan ion hidrogen dengan persamaan

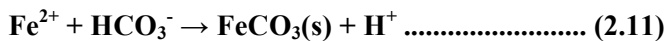
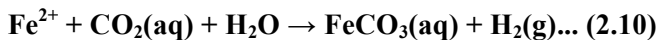


reaksi sebagai berikut:

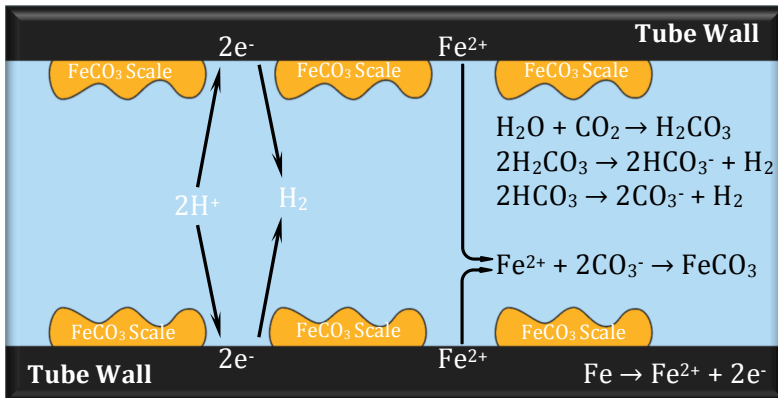


Korosi CO<sub>2</sub> pada intinya merupakan masalah korosi yang disebabkan oleh asam karbonat. CO<sub>2</sub> menjadi bersifat korosif akibat adanya air sehingga akan membentuk asam karbonat. Asam karbonat ini sendiri merupakan asam lemah, dimana pada perubahan temperatur kamar kurang dari 0,1 % saja asam karbonat ini akan terdisosiasi dengan reaksi 2.8 dan 2.9. Jika korosi CO<sub>2</sub> dapat dikategorikan sebagai korosi yang diakibatkan oleh asam lemah, dimana baja terkorosi akibat reduksi dari H<sup>+</sup> dan oksidasi dari Fe, seharusnya dari reaksi di atas tingkat korosif dari CO<sub>2</sub> sangat lemah, hal ini dikarenakan tingkat disosiasi yang rendah. Namun nyatanya, tingkat korosif dari asam karbonat adalah lebih tinggi dari nilai dari reaksi diatas. Pada pH tertentu, korosi yang terjadi pada baja lebih banyak disebabkan oleh larutan cair yang mengandung CO<sub>2</sub>. (Permadi, 2011)

Secara umum persamaan reaksi yang terjadi pada korosi yang diakibatkan oleh gas CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam air adalah sebagai berikut: (Permadi, 2011)







Gambar 2.8 Mekanisme Korosi CO<sub>2</sub>.

Kedua reaksi katoda di atas merupakan reaksi yang mempengaruhi total arus katodik pada korosi CO<sub>2</sub>. Reaksi yang terjadi tergantung dari lingkungan korosif yang ada pada permukaan logam. Pada pH rendah (<4), reduksi hidrogen adalah reaksi katodik yang dominan. Sedangkan pada pH yang lebih tinggi (>4) reaksi reduksi langsung asam karbonat menjadi lebih dominan. Dari reaksi korosi yang terjadi, akan dihasilkan FeCO<sub>3</sub> sebagai produk korosi. (S. Nesic, 2003)

Korosi CO<sub>2</sub> dipengaruhi oleh sejumlah parameter seperti parameter pH, laju aliran fluida, tekanan parsial dan pengaruh *acetic acid* di dalamnya.

## II.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi CO<sub>2</sub>

### II.3.1 pH

Lingkungan pH lingkungan merupakan derajat keasaman dari lingkungan yang mengindikasikan konsentrasi H<sup>+</sup> dalam lingkungan tersebut. Perubahan pH lingkungan akan berpengaruh kepada laju korosi baja dalam lingkungan. Semakin rendah nilai pH, maka laju korosi akan semakin tinggi. Pada korosi CO<sub>2</sub>, pH akan menentukan reaksi dominan yang terjadi. Pada pH rendah



(<4), reaksi reduksi hidrogen merupakan reaksi yang dominan. Sedangkan pada pH tinggi (>4), reaksi yang dominan adalah reduksi langsung dari asam karbonat. Dalam korosi CO<sub>2</sub>, pH lingkungan juga mempengaruhi pembentukan lapisan produk korosi (FeCO<sub>3</sub>). (Johnsen, 2004)

Lapisan korosi akan sangat mudah terbentuk pada pH tinggi. Pada pH tinggi kelarutan dari FeCO<sub>3</sub> akan menurun sehingga akan mengakibatkan peningkatan laju pengendapan dari lapisan FeCO<sub>3</sub>. Pembentukan lapisan FeCO<sub>3</sub> yang cepat akan berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon dalam lingkungan CO<sub>2</sub>. (Nesic, 2007)

### **II.3.2 Laju Aliran Fluida**

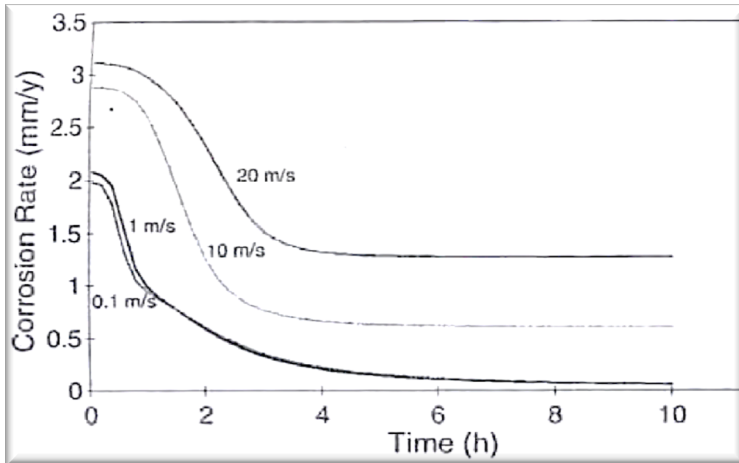
Laju aliran menjadi faktor penting dalam korosi CO<sub>2</sub>. Laju aliran akan mempengaruhi transfer massa dan muatan yang sehingga akan berpengaruh pada kinetika proses korosi dalam lingkungan tersebut. (PINE Research Instrumentation, 2007)

Laju aliran juga akan mempengaruhi terhadap pembentukan lapisan pelindung dan laju korosi baja. Pertama, laju aliran dapat mencegah pembentukan lapisan pelindung karena dapat menurunkan kejenuhan lingkungan. Kedua, laju aliran dapat menimbulkan kerusakan lapisan korosi sehingga memungkinkan terjadinya kontak antara permukaan baja dengan lingkungan yang korosif. (Castaneda, 2004)

Pada laju aliran yang cukup tinggi, lapisan proteksi yang terbentuk pada permukaan logam akan semakin sedikit. Pada lingkungan dengan laju aliran yang sangat tinggi, akan terjadi kerusakan dan terlepasnya lapisan proteksi. Hal ini dapat meningkatkan laju korosi baja pada lingkungan tersebut. Selain itu, jika kerusakan lapisan pelindung ini terjadi dapat menimbulkan korosi setempat (*localized corrosion*), seperti korosi sumuran (*pitting corrosion*) pada permukaan baja. Pengaruh laju aliran terhadap laju korosi CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada



gambar 2.9. (Castaneda, 2004)



**Gambar 2.9** Grafik hubungan laju aliran dengan laju korosi CO<sub>2</sub>.  
(Rustandi, 2011)

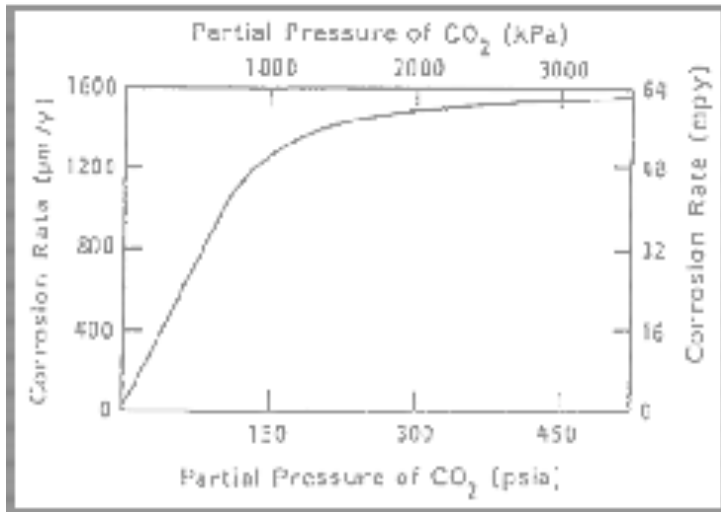
### II.3.3 Tekanan Parsial CO<sub>2</sub>

Tekanan parsial CO<sub>2</sub> sebanding dengan jumlah mol CO<sub>2</sub> yang dapat terlarut dalam air. Pada saat tidak ada lapisan korosi yang terbentuk pada permukaan material, peningkatan tekanan parsial CO<sub>2</sub> akan mengakibatkan laju korosi menjadi meningkat. (Rustandi, 2011)

Peningkatan tekanan parsial CO<sub>2</sub>, mengakibatkan reaksi reduksi asam karbonat menjadi meningkat akibat peningkatan konsentrasi asam karbonat yang terbentuk pada lingkungan. Pada pembentukan lapisan FeCO<sub>3</sub>, peningkatan tekanan parsial CO<sub>2</sub> akan membantu proses pembentukan. Peningkatan tekanan parsial CO<sub>2</sub> akan meningkatkan konsentrasi CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> dan kejenuhan FeCO<sub>3</sub> sehingga mempercepat terbentuknya lapisan FeCO<sub>3</sub>. Grafik pengaruh tekanan partial CO<sub>2</sub> terhadap laju korosi dari CO<sub>2</sub> dapat



dilihat pada gambar 2.10. (Rustandi, 2011)



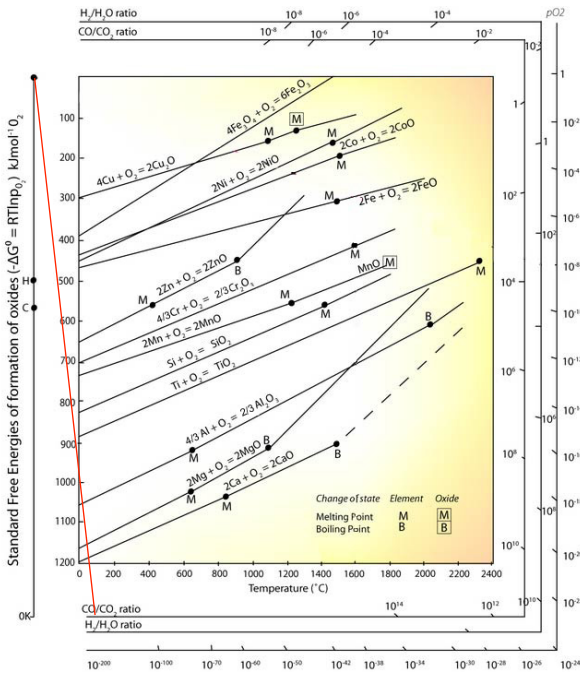
**Gambar 2.10** Grafik pengaruh tekanan parsial CO<sub>2</sub> terhadap laju korosi baja karbon. (NACE, 2005)

Secara umum korosi CO<sub>2</sub> dapat diperkirakan dengan aturan sebagai berikut: (API 571)

- Sistem dengan tekanan parsial CO<sub>2</sub> diatas 30 psi mengindikasikan sudah pasti terjadi *CO<sub>2</sub> Corrosion*.
- Sistem dengan tekanan parsial CO<sub>2</sub> berkisar antara 7-30 psi, *CO<sub>2</sub> Corrosion* mungkin terjadi.
- Sistem dengan tekanan parsial CO<sub>2</sub> dibawah 7 psi, umumnya tidak terjadi *CO<sub>2</sub> Corrosion*.

Dimana tekanan parsial didapatkan dari perkalian fraksi mol CO<sub>2</sub> dengan tekanan total dari sistem lingkungan, dengan persamaan rumus berikut :

$$\text{CO}_2 \text{ PP} = (\text{Total pressure} \times \text{CO}_2 \text{ in mol } \%) \dots (2.12)$$



Gambar 2.11 Ellingham Diagram (Ellingham, 1944)

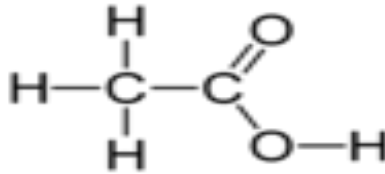
Jika dilihat pada gambar 2.11 diatas, dijelaskan bahwa dalam diagram ellingham ion Fe yang terkandung dalam material sample dengan suhu kamar akan bereaksi dengan ion lainya pada fraksi *pressure*  $CO/CO_2$  lebih dari  $10^{14}$  atau dapat juga diartikan sebagai fraksi *pressure*  $CO_2/CO$  sebesar  $1/10^{14}$ . Maka dari itu syarat untuk terjadinya reaksi antara ion Fe adalah menambahkan  $CO_2$  minimal 1 psi di dalam  $10^{14}$  psi gas keseluruhan.

### II.3.4 Pengaruh acetic acid ( $CH_3COOH$ )

Asam asetat atau acetic acid atau ethanoic acid adalah senyawa organik yang termasuk dalam golongan carboxylic acid dengan rumus kimia dari asam asetat sendiri adalah  $CH_3COOH$ ,



dan dengan gugus fungsinya adalah (Triharto, 2010):



Asam asetat terdisosiasi menurut reaksi berikut :



**Tabel 2.2** Karakteristik Acetic Acid (Nurhamzah, 2011)

Polaritas gugus fungsi	karena adanya ikatan polar O-H dan C=O maka carboxylic acid adalah senyawa polar
Ikatan Hidrogen	Ikatan Hidrogen antara carboxylic acid molekul juga kuat dan ikatan hidrogen ini juga terjadi antara carboxylic acid dengan air.
Solubility dalam air	carboxylic acid yang berat molekulnya rendah sangat soluble dalam air dan solubilitasnya akan semakin turun dengan bertambahnya jumlah atom carbon.
Titik leleh dan titik didih	Ikatan hidrogen yang kuat antar molekul menyebabkan titik leleh dan didih dari carboxylic acid sangat tinggi.

Pengaruh asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) pada laju korosi baja karbon sering ditemui pada *oil and gas industry* yang mengandung air garam dan  $\text{CO}_2$ . Asam asetat itu sendiri adalah asam organic yang paling umum dalam sistem multiphase yang mengandung air garam. Korosi  $\text{CO}_2$  yang dipengaruhi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  merupakan penyebab utama yang sering ditemui pada equipment *oil and gas* yang terbuat dari baja karbon. Dampak dari adanya asam asetat dapat bersifat korosi lokal (*localized corrosion*) dengan menghilangkan lapisan  $\text{FeCO}_3$  yang merupakan produk korosi dari korosi  $\text{CO}_2$ . Jadi, produk korosi dari korosi  $\text{CO}_2$  yang mengendap pada permukaan material dasar memiliki sifat menekan laju korosi yang akan terjadi dapat terkikis oleh adanya



kandungan asam asetat yang akan menyebabkan korosi tetap terjadi secara kontinyu. (Nazari,2010)

## **II.4 Laju Korosi**

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu . Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy). Satu *mils* adalah setara dengan 0,001 inchi. Laju korosi dapat ditentukan dengan berbagai cara, diantaranya dengan ekstrapolasi kurva tafel. Pada tabel 2.3 berikut dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya (relatif).

**Tabel 2.3** Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi.  
(Callister,2000)

<b>Ketahanan Korosi Relatif</b>	<b>Laju Korosi</b>				
	<b>mpy</b>	<b>mm/yr</b>	<b>µm/yr</b>	<b>nm/hr</b>	<b>pm/s</b>
<b>Sangat baik</b>	<1	< 0,02	< 25	<2	<1
<b>Baik</b>	1-5	0,02 – 0,1	25 - 100	2 – 10	1 -5
<b>Cukup</b>	5 -20	0,1 – 0,5	100 - 500	10 – 50	20 - 50
<b>Kurang</b>	20 – 50	0,5 – 1	500 - 1000	50 – 150	20 – 50
<b>Buruk</b>	50 – 200	1 -5	1000 - 5000	150 – 500	50 – 200

## **II.5 Perhitungan Laju Korosi**

### **II.5.1 Metode Weight Loss**

Metode weight loss memiliki prinsip dengan memperhatikan pengurangan massa yang terjadi pada waktu tertentu.. Dalam hal ini pengukurannya dilakukan dengan menggunakan spesimen yang diekspose pada larutan tertentu. Sebelum dilakukan proses pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi terhadap sampel yang akan digunakan. Pada umumnya



sampel yang digunakan berbentuk segiempat atau silinder. Permukaan sampel kemudian dibersihkan dari oksida-oksida yang menempel, ada dua cara untuk menghilangkan oksida yang menempel yaitu dengan cara mekanik atau cara kimia, untuk cara mekanik spesimen diampelas menggunakan kertas ampelas hingga oksida yang menempel hilang, untuk cara kimia spesimen dicelupkan kedalam larutan HCl pekat dengan waktu tertentu, setelah dilakukan proses pembersihan hasil oksida dilanjutkan dengan melakukan pengukuran berat awal sampel. Kemudian sampel direndam kedalam larutan selama waktu yang telah ditentukan. Setelah proses perendaman selesai, dilakukan pembersihan dan pengukuran berat akhir sampel. Perbedaan berat awal dan berat akhir tersebut akan menjadi data untuk mengukur laju korosi sesuai dengan ASTM G1-03.

Dalam penentuan laju korosi suatu logam, maka digunakan persamaan berikut ini :

$$CR = \frac{K \cdot W}{D \cdot A \cdot T} C \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

- W = Berat yang hilang (gram)                      T = Waktu paparan (jam)  
D = Berat jenis logam (gram/cm<sup>3</sup>)                K = Konstanta laju korosi  
A = Luas permukaan kontak (cm<sup>2</sup>)

**Tabel 2.4** Konstanta Laju Korosi (ASTM G1-03)

<b>Satuan Laju Korosi</b>	<b>Konstanta (K)</b>
mils per year (mpy)	3.45 x 10 <sup>6</sup>
Inches per year (ipy)	3.45 x 10 <sup>3</sup>
Inches per month (ipm)	2.87 x 10 <sup>4</sup>
Millimeters per year (mm/y)	8.76 x 10 <sup>7</sup>
Micrometers per year (µm/y)	8.76 x 10 <sup>4</sup>
Picometers per second (pm/s)	2.78 x 10 <sup>6</sup>
Gram per square meter per hour (g/m <sup>2</sup> .h)	1.00 x 10 <sup>4</sup> x D <sup>A</sup>
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	2.40 x 10 <sup>6</sup> x D <sup>A</sup>
Micrograms per square meter per second (µg/m <sup>2</sup> .s)	2.78 x 10 <sup>6</sup> x D <sup>A</sup>

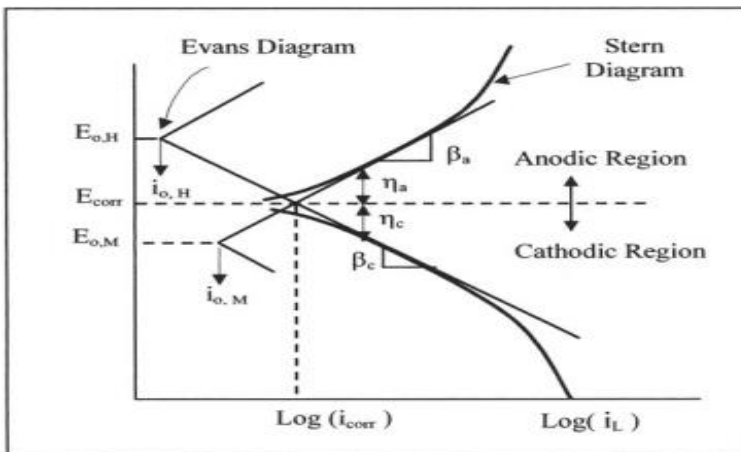




### II.5.2 Metode Polarisasi Tafel

Polarisasi merupakan suatu fenomena dimana terjadi penyimpangan potensial dari kondisi kesetimbangannya. Dengan metoda polarisasi, laju korosi dapat ditentukan oleh kerapatan arus yang timbul (current density) untuk menghasilkan suatu kurva polarisasi (tingkat perubahan potensial sebagai fungsi dari besarnya arus yang digunakan) untuk permukaan yang laju korosinya sedang ditentukan. Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat begitupula sebaliknya. Ketika potensial pada logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah positif, maka hal ini disebut sebagai terpolarisasi secara anodik. Apabila potensial pada permukaan logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik.

Pengujian polarisasi tafel ini akan menghasilkan grafik ekstrapolasi yang akan menginformasikan beberapa data, salah satunya adalah laju korosi keika diolah dengan software.



**Gambar 2.12** Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel (Perez, 2004)



Untuk menghitung laju korosi dari kurva polarisasi dapat menggunakan persamaan yang diatur pada ASTM G59 tentang “*Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*”. Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam menentukan laju korosi dan laju kehilangan massa.

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

B = Stern-Geary constant (V)

$b_a$  = slope of anodic Tafel reaction (V/decade)

$b_c$  = slope of cathodic Tafel reaction (V/decade)

Setelah dilakukan perhitungan  $i_{cor}$  dengan persamaan dibawah ini.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

$i_{cor}$  = corrosion current density ( $\mu A/cm^2$ )

$R_p$  = polarization resistance ( $\Omega cm^2$ )

Kemudian dilakukan perhitungan corrosion rate dengan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \cdot (i_{cor} / \rho) \cdot EW \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

CR = corrosion rate (mpy)

$K_1 = 0,1288$  (mpy g/  $\mu A cm$ )

$\rho$  = densitas logam ( $g/cm^3$ )

EW = equivalent weight (g/mol)

$$MR = K_2 \cdot i_{cor} \cdot EW \dots\dots\dots (2.18)$$



Dimana:

MR = mass loss rate ( $\text{g/m}^2 \text{ d}$ )

$K_2 = 8,954 \times 10^{-3} (\text{g cm}^3/\mu\text{A m}^2 \text{ d})$

## II.6 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nurhamzah, (2010), menyatakan benar adanya bahwa kecepatan putaran atau laju alir dan pH mempengaruhi besar *corrosion rate*. Laju aliran yang tinggi dapat memperbesar laju korosi, dan laju korosi yang tinggi dapat membahayakan pipeline dan flowline penyalur *oil and gas condensate* sehingga dibutuhkan suatu metode proteksi untuk mencegah terjadinya kegagalan akibat proses korosi yang terjadi. Peningkatan pH berpengaruh pada pembentukan karbonat pada permukaan sampel, dan pembentukan tersebut akan mempengaruhi dari besarnya *corrosion rate* yang didapat

Hal tersebut sepaham dengan hasil penelitian Nitiyoga, (2010), dimana disebutkan bahwa peningkatan laju alir mengakibatkan laju korosi pada Baja API 5L X-52 pada lingkungan yang mengandung gas  $\text{CO}_2$  akan mengalami peningkatan. Selain itu dijelaskan bahwa pada lingkungan korosif dengan kandungan  $\text{CO}_2$  jenuh di pH 4, laju korosi baja karbon API 5L X-52 dengan pengaruh laju alir akan dipengaruhi oleh reduksi ion hydrogen dan transport massa akibat tidak terbentuknya lapisan protektif  $\text{FeCO}_3$ . Pada korosi  $\text{CO}_2$  dengan pH lingkungan yang semakin tinggi akan membentuk lapisan pasifasi berupa  $\text{FeCO}_3$  yang dapat berfungsi sebagai lapisan proteksi terhadap korosi  $\text{CO}_2$ .

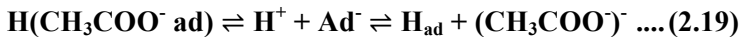
$\text{CH}_3\text{COOH}$  tidak jarang ditemukan pada lapangan migas, ini disebutkan oleh Nazari, dkk., (2010). Mereka menemukan adanya efek dari  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pada  $\text{CO}_2$  *corrosion*. Selain itu ditemukan juga bahwa adanya larutan *acetic acid* pada fluida dapat mengikis bahkan menghilangkan lapisan pasifasi yang disebabkan oleh  $\text{CO}_2$  *corrosion*. Santoso, 2011 juga melakukan penelitian tentang hal tersebut, didapatkan bahwa penambahan



kadar  $\text{CH}_3\text{COOH}$  hingga konsentrasi 1500 ppm dapat meningkatkan laju korosi, sedangkan pada penambahan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan konsentrasi 2000 ppm mengalami penurunan. Selain itu karena adanya *acetic acid* dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya korosi sumuran. Sedangkan Intisari puspita dewi menjelaskan pada penelitiannya bahwa korosi sumuran terjadi bukan karena efek dari *acetic acid*, tetapi dari adanya unsur klorida yang terdapat pada larutan.

Pada penelitian S. Nestic (2013), menjelaskan tentang mekanisme korosi yang terjadi karena adanya  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Penelitian tersebut menjelaskan bahwa  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dapat menyebabkan korosi dikarenakan memiliki gugus *Acetid* ( $\text{CH}_3\text{OO}$ ) yang membuat suasana menjadi asam dan akan berikatan dengan Fe yang dijelaskan juga pada penelitian Alahkaram pada persamaan 2.13. Dalam penelitian Nestic terdapat 2 reaksi yang terjadi diantaranya adalah reaksi *Direct Reduction* dan *Buffer Effect*.

Pada penelitian tersebut reaksi reduksi dari  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dominan yang terjadi adalah *Buffer Effect*. Berikut adalah persamaan reaksi dari *Buffer Effect*.

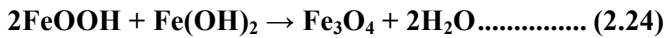
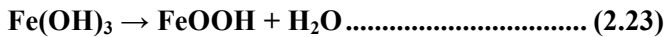


Sirdjan Nestic juga menjelaskan pada penelitiannya bahwa  $\text{CH}_3\text{COOH}$  tidak berpengaruh pada reaksi katodik karena tidak terjadi reaksi *direct reduction* dari  $\text{CH}_3\text{COOH}$  yang terdeksi. Ion hidrogen adalah satu-satunya reaktan katodik pada permukaan logam. Perubahan pH juga dapat menyebabkan perubahan dari reaksi katodik. Hal tersebut telah juga dijelaskan pada penelitian-penelitian sebelumnya seperti yang ditulis oleh Y. Garsany, dkk yang menjelaskan laju korosi tinggi baja ringan terhadap  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Terdapat beberapa produk korosi yang mungkin terjadi,



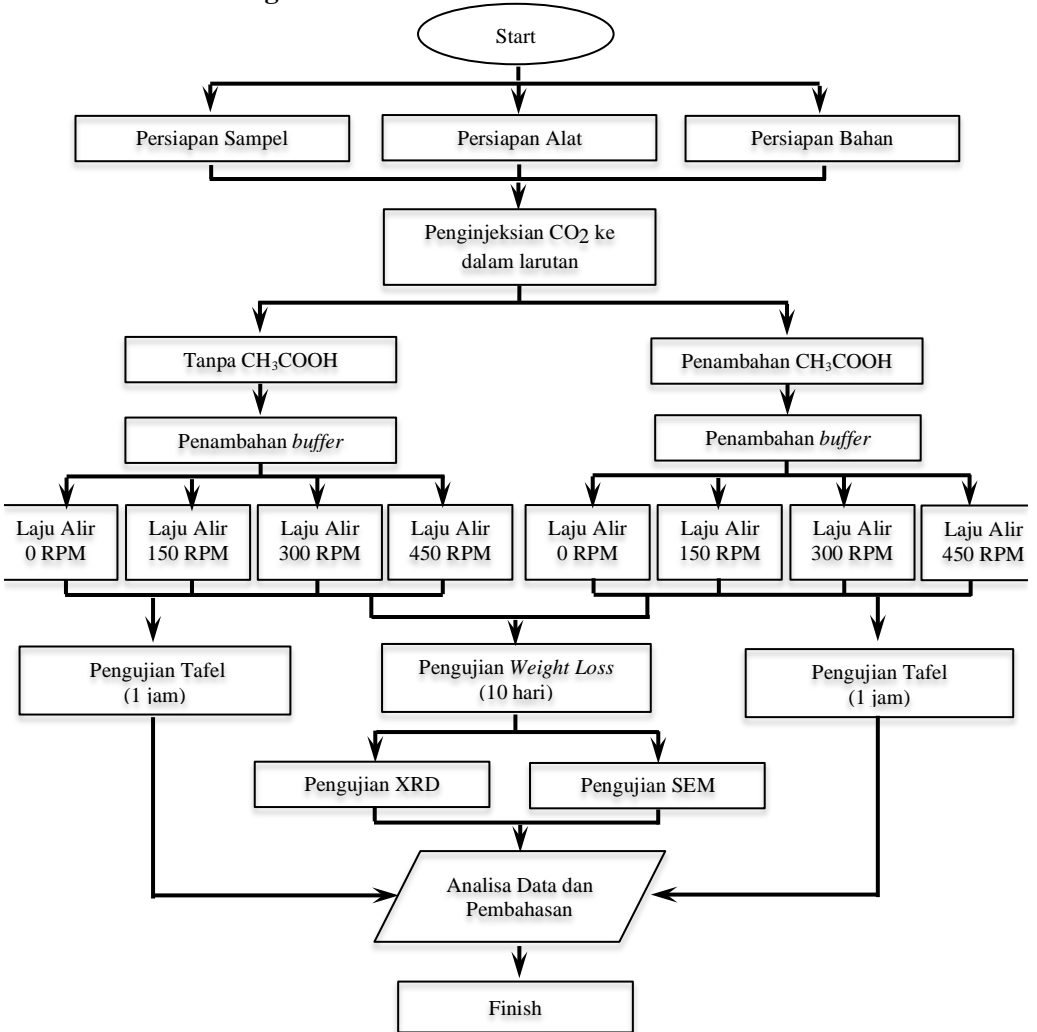
salah satunya pada penelitian Tao Yang, dkk. pada tahun 2014 menjelaskan tentang kemungkinan apa sajakah yang akan terjadi pada pembentukan produk korosi berupa  $\text{FeCO}_3$  serta morfologinya dan konversi dari produk korosi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  merupakan hasil produk korosi dari besi baja. Berikut adalah reaksi persamaan pembentukan dari produk korosi berupa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .



Dari persamaan diatas, produk korosi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan hasil dari reaksi produk korosi  $\text{FeOOH}$  dan  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Dimana kedua senyawa tersebut merupakan hasil reaksi  $\text{Fe}^{2+}$  yang berasal dari sample baja yang bereaksi dengan  $\text{OH}^-$  yang terdapat pada larutan elektrolit.

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## III.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



## **III.2 Prosedur Penelitian**

### **III.2.1 Metode Penelitian**

Metode Penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Metode ini menggunakan buku, jurnal, informasi dan penelitian dari situs industri sebagai acuan untuk mempelajari mengenai masalah perubahan laju aliran fluida dan pH terhadap laju korosi pada baja karbon rendah dengan pengaplikasian pada *flowline oil and gas industry*.

2. Diskusi dan *interview*

Metode ini adalah metode saling bertukar pikiran antara penulis dengan orang-orang ahli dibidangnya yang bertujuan untuk penulis supaya mendapatkan inspirasi dan wawasan terkait masalah tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan dosen pembimbing dan dosen mata kuliah yang ahli di bidang korosi. Selain itu dapat dilakukan pula diskusi dengan pelaku industri yang berkecimpung di dunia *oil and gas*, tepatnya pada *flowline equipment*. Dan juga dengan peneliti-peneliti sebelumnya yang sudah mencoba membuat riset mengenai CO<sub>2</sub> *Corrosion*.

3. Experimental

Metode ini bertujuan untuk mendapatkan data langsung dari pengujian sesuai prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian dalam eksperimen ini yaitu: *weight loss corrosion*, Polarisation (*Tafel Polarization*), XRD, dan SEM.

### **III.2.2 Alat**

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Tafel Polarization* Autolab
2. *Rotating Cylinder Electrode*
3. Kabel set



4. pH meter
5. Sel polarisasi
6. Elektroda standar Ag/AgCl<sub>2</sub>
7. Anoda Platina
8. Regulator gas
9. Tabung gas CO<sub>2</sub>
10. Selang udara
11. Difusser gas
12. Timbangan digital
13. Beaker Glass 500 dan 1000 ml
14. Pipet tetes
15. Cawan petri
16. Kertas amplas 1000#, 1200#, dan 1500#.
17. Kamera digital

### **III.2.3 Bahan**

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Sampel Ø 10 mm Baja Karbon ASME SA516 grade 70
2. Gas CO<sub>2</sub>
3. Garam NaCl
4. Larutan CH<sub>3</sub>COOH
5. Larutan *buffer*
6. Aquades

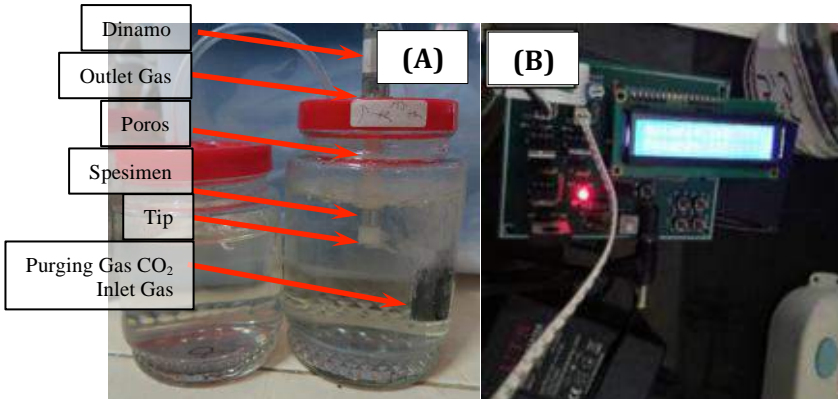
### **III.2.4 Preparasi Alat**

Rotating Cylinder Electrode (RCE) merupakan alat pemutar spesimen dengan putaran rotasi, bagian yang berputar sekaligus menjadi tempat spesimen adalah bagian poros, bagian poros ini terbuat dari material teflon dengan diameter ±10 mm yang dicouple dengan dinamo agar bisa berputar dengan kecepatan tertentu. Pengaturan kecepatan RCE dikontrol melalui





sistem micro controller. Berikut merupakan alat RCE yang digunakan pada saat penelitian.



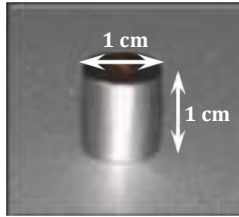
**Gambar 3.2** (A) Alat RCE; (B) *micro controller* pengatur kecepatan putar.

Sehingga apabila dilakukan pengurutan dari atas ke bawah dari RCE, antara lain :

- Kabel
- Dinamo
- Couple
- Poros
- Spesimen

### **III.2.5 Preparasi Sample**

Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja ASME SA516 grade 70. Berikut adalah langkah preparasi sampel yang dilakukan:



**Gambar 3.3** Spesimen *Rotating Cylinder Electrode*

1. Potong material penampang menjadi berbentuk silindris dengan panjang 1 cm dengan tebal diameter 1 cm dan luas permukaan uji seluas  $3,14 \text{ cm}^2$  untuk pengujian *weight loss* dan luas permukaan tercelup seluas  $1,68 \text{ cm}^2$  untuk pengujian *polarization*.
2. Amplas permukaan sampel menggunakan kertas amplas grade 1000#, 1200#, dan 1500#. Proses pengamplasan bertujuan untuk menghilangkan oksida yang menempel pada permukaan sampel.

### **III.2.6 Pembuatan Larutan Uji**

Larutan uji yang digunakan pada pengujian ini adalah larutan garam dengan kadar 3.5wt% NaCl. Berikut adalah langkah pembuatan larutan garam 3.5wt% NaCl:

1. Penimbangan 35,64 gram kristal NaCl menggunakan timbangan digital untuk membuat larutan 3.5wt% NaCl.
2. Setelah didapatkan berat yang sesuai, larutkan kristal NaCl dengan aquades sampai volume mencapai 1000ml.
3. Letakan beaker glass berisi larutan di atas *magnetic stirrer*, aduk hingga larutan garam menjadi homogen.
4. Melakukan *purging* gas  $\text{CO}_2$  selama 1 jam yang bertujuan untuk membentuk larutan  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Pada penambahan *acetic acid*, harus dilakukan *purging* gas  $\text{CO}_2$  kembali selama 30 menit.



5. Setelah selesai larutan 3.5wt% NaCl dapat digunakan untuk pengujian.

### III.3 Pengujian-pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian pada beberapa sample yang sudah diberikan beberapa variable yang berbeda. Pengujian-pengujian tersebut akan dilakukan sebagaimana yang dijelaskan pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Skema Tipe Pengujian

Tipe Pengujian	Tanpa CH <sub>3</sub> COOH								Penambahan CH <sub>3</sub> COOH								
	pH 5				pH 6				pH 5				pH 6				
	0	150	300	450	0	150	300	450	0	150	300	450	0	150	300	450	
Weight Loss	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Polarisasi Tafel	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
SEM									✓								
XRD	✓								✓								

#### III.3.1 Pengujian pH larutan

Pengujian pH larutan ini dilakukan dengan menggunakan pH indikator dan pH meter, dimana pengujian dilakukan terhadap larutan sebelum dan setelah dilakukan *purging* CO<sub>2</sub>. Pengujian menggunakan pH indikator dilakukan dengan menggunakan pH meter dilakukan dengan diawali proses kalibrasi kemudian mencelupkan pH meter ke dalam larutan hingga ditunjukkan nilai pH 6 pada layar pH meter. Peningkatan nilai pH dilakukan dengan cara memberi larutan NaHCO<sub>3</sub>.

#### III.3.2 Pengujian Laju Korosi (Polarization)

Pengujian laju korosi dilakukan dengan menggunakan *Tafel Polarization* Autolab dimana pengujian diawali dengan menyusun rangkaian sel polarisasi, kemudian pengujian dilakukan dengan mengukur corrosion potensial yang dilakukan



selama 200 detik. Setelah itu digunakan pengujian polarisasi tafel untuk mendapatkan grafik E (potensial) vs log I (rapat arus).

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian Tafel:

1. Menyiapkan larutan garam 3,5% NaCl.
2. Memasang specimen uji pada poros Rotating Cylinder Electrode (RCE) dan tutup wadahnya hingga dapat dipastikan kedap udara.
3. Melakukan injeksi gas CO<sub>2</sub> ke dalam larutan uji dan melakukan pengukuran pH larutan NaCl yang telah mengandung CO<sub>2</sub> jenuh, memiliki tekanan 1 bar.



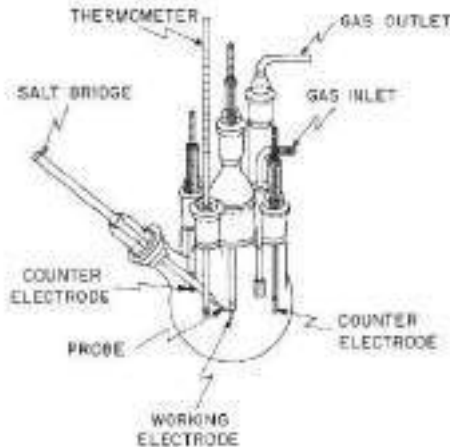
**Gambar 3.4** Rangkaian alat

4. Menambahkan *buffer* (menaikan pH) ke dalam 3,5wt% NaCl yang telah mengandung CO<sub>2</sub> jenuh dan juga larutan *acetic acid* sampai terbaca pH 5 dan 6 pada pH meter.
5. Memastikan pH larutan sudah stabil, dan cabut pH meter yang tertancap pada wadah sistem.



**Gambar 3.5** Pembacaan nilai pH 5 pada pH meter

6. Menyalakan alat RCE dengan kecepatan 0 RPM, 150 RPM, 300 RPM, 450 RPM, selama 1 jam.



**Gambar 3.6** Skema Alat Pengujian Polarisasi

7. Menyiapkan dan menjalankan alat *Tafel Polarization* AUTOLAB dan masukan data-data pengujian pada instrument (*setting*), dengan jangkauan potensial (-)250-(+)250 mV terhadap *open potensial (Eoc)*.



**Tabel 3.2** Parameter *Pengujian Polarization*

Test Specimen	
- Cylinder	10 mm Ø x 10 mm H
Linier Polarization	
- <i>R<sub>p</sub></i>	Potential ramp -250 mV to +250 mV vs <i>E<sub>cor</sub></i>
- <i>Sweet rate</i>	0.1 mV/s
Reference Electrode	Ag/AgCl (3M KCl)

8. Setelah selesai, data disimpan untuk kemudian dilakukan perhitungan laju korosi.
9. Ulangi langkah 1-8 untuk pH yang sama dan larutan elektrolit yang ditambahkan larutan *acetic acid* 1500 ppm.

### III.3.3 Pengujian weight loss

Pengujian *weight loss* atau lebih dikenal dengan metode pengurangan berat adalah metode yang dilakukan untuk mengetahui besaran laju korosi (mm/year) pada suatu material berdasarkan pengurangan berat awal dan berat akhir. Dalam metode ini, sample dengan berat tertentu dicelupkan dalam larutan atau lingkungan tertentu pada beberapa waktu yang berbeda. Dengan metode ini, berat hilang yang diakibatkan proses korosi dihasilkan. Sehingga bisa diketahui laju korosi karena akibat dari pengaruh laju aliran dan pH.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Korosi dan kegagalan material jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Langkah-langkah pengujian *weight loss immerse* adalah sebagai berikut:

1. Siapkan 3 spesimen dengan ukuran Ø10 mm x 10 mm yang berbentuk silinder pada *Rotating Cylinder Electrode* dan timbang berat masing-masing spesimen.



2. Pengisian wadah *weight loss immerse* dengan larutan elektrolit berupa larutan 3,5wt% NaCl yang telah mengandung CO<sub>2</sub> jenuh dan tambahkan larutan NaHCO<sub>3</sub> sampai terbaca pH 5 dan 6, tutup wadah dan pastikan kedap udara
3. Menghubungkan selang *inlet* dan *outlet purging* gas CO<sub>2</sub> pada wadah *weight loss immerse*.
4. Menyalakan *Rotating Cylinder Electrode* dan membuka regulator gas CO<sub>2</sub> dengan tekanan 1 atm guna supaya kelarutan CO<sub>2</sub> pada elektrolit tetap terjaga selama 10 hari.
5. Melakukan pengambilan gambar, pencucian dan penimbangan berat akhir.
6. Ulangi langkah 1-5 untuk spesimen dengan pH yang sama dan larutan elektrolit yang ditambahkan larutan *acetic acid* 1500 ppm.

### III.3.4 Pengujian Analisa Difraksi Sinar X (XRD)

Analisa difraksi sinar X dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terbentuk sebagai produk korosi pada material yang diberikan kecepatan putaran 0 RPM dan 450 RPM dengan maupun tanpa penambahan CH<sub>3</sub>COOH pada pH yang berbeda yang telah mengalami pengujian korosi. Yakni dengan pengkorosian selama 10 hari. Spesimen yang dipakai pada pengujian ini berupa produk korosi yang jatuh pada dasar larutan elektrolit. Produk korosi tersebut dikeringkan hingga kadar air hilang. Setelah produk korosi tersebut kering, specimen siap dilakukan pengujian XRD.

Karakterisasi XRD dilakukan menggunakan alat *Pan Analytical XRD* di Laboratorium Karakterisasi Teknik Material dan Metalurgi. Grafik dari pengujian XRD menggunakan *software Match!* Untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk pada lapisan spesimen



Pada pengujian XRD, sampel ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah *plate* yang digunakan sebagai tempat yaitu sebuah plat tipis yang berlubang di tengah berukuran sesuai dengan sampel (*plate*) dengan perekat pada sisi baliknya.



**Gambar 3.7** Mesin XRD Pan Analytical

### **III.3.5 Pengujian SEM**

Pengujian dengan Scanning Electron Microscope (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi dari suatu material. SEM merupakan jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai dengan sinar elektron yang difokuskan. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, untuk memproduksi berbagai sinyal yang dapat dideteksi dan yang mengandung informasi tentang morfologi permukaan, dengan melakukan pengujian ini akan tampak perbedaan morfologi dari material yang diberikan kecepatan putaran 0 RPM dan 450 RPM dengan maupun tanpa penambahan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pada pH yang





berbeda dengan menggunakan Alat SEM Inspect S50.



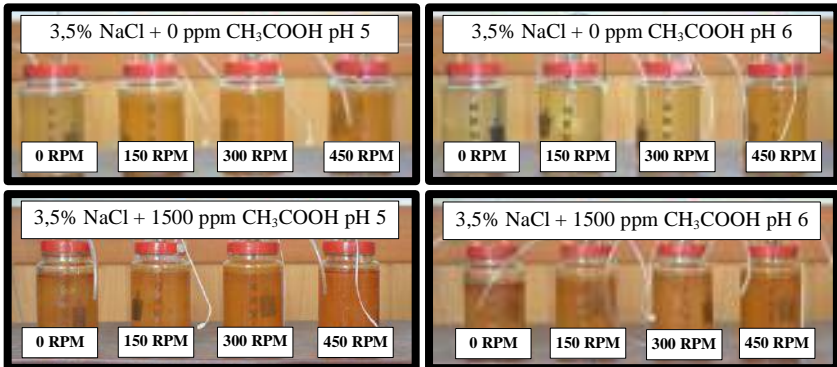
**Gambar 3.8** Alat Pengujian SEM Inspect S50

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

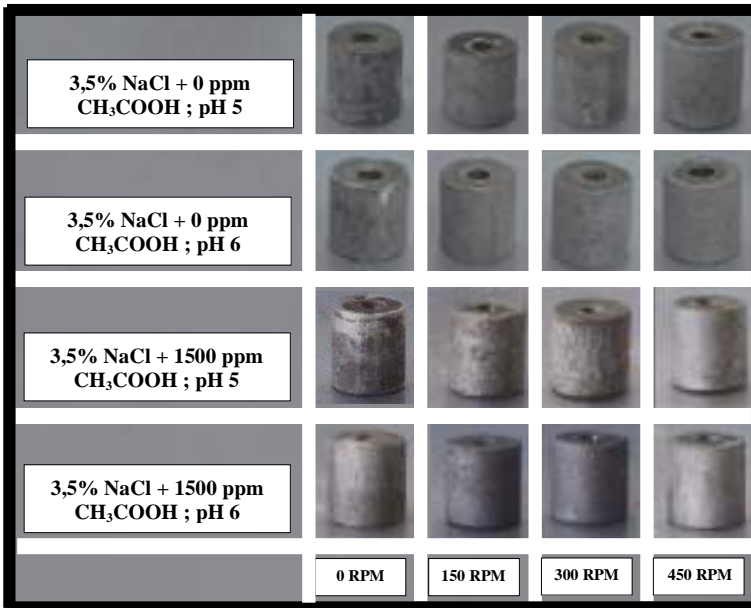
#### IV.1 Hasil Penelitian

##### IV.1.1 Hasil Pengamatan Visual



**Gambar 4.1** Foto visual larutan Elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 0 ppm dan 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH pada pH 5 dan 6 setelah pengujian *Weight Loss* selama 10 hari.

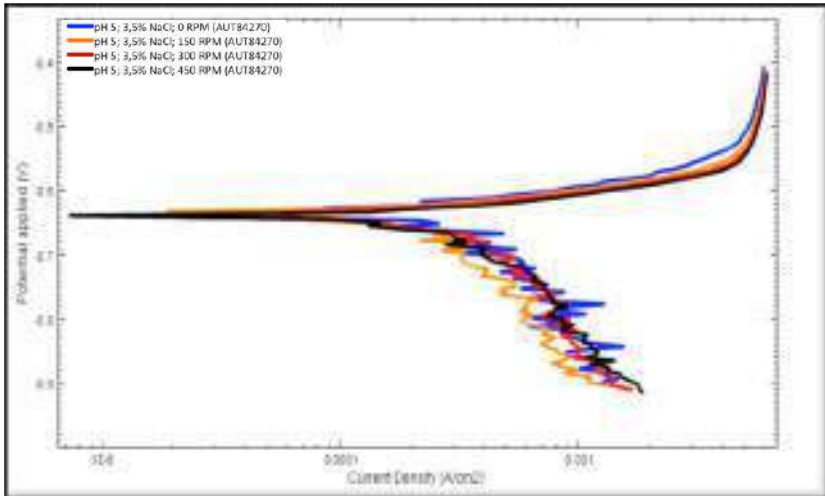
Pada pengamatan visual yang ditunjukkan gambar 4.1 tampak adanya perbedaan pada warna larutan elektrolit setelah dilakukan *weight loss* selama 10 hari. Perbedaan tersebut tampak jelas antara larutan elektrolit 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH pH 5 dan 6; 3,5% NaCl + 1500ppm CH<sub>3</sub>COOH pH 5 dan pH 6, yang paling terlihat keruh adalah pH 5 larutan elektrolit yang mengandung 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH memiliki warna jernih kemerah-merahan, sedangkan pada larutan lainnya memiliki warna kemerah-merahan yang cenderung lebih jernih dibandingkan pada larutan yang mengandung 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH pada pH 5.



**Gambar 4.2** Foto makro ASME SA516 gr 70 setelah pengujian *Weight Loss* pada Elektrolit 3,5% NaCl yang mengandung 0 ppm dan 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pada pH 5 dan 6

#### **IV.1.2 Hasil Pengujian *Polarization***

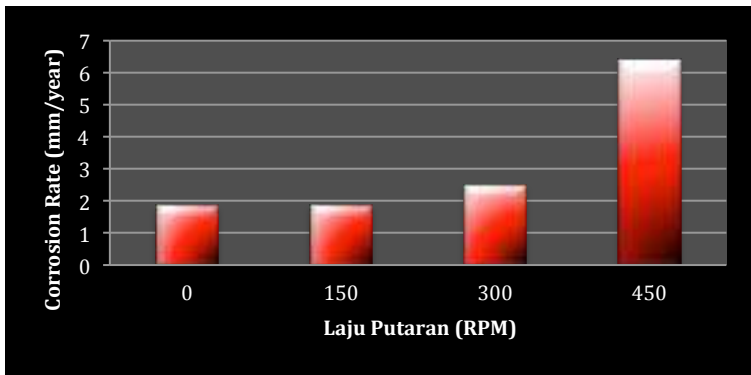
Dari hasil pengujian *Polarization* didapat data berupa grafik antara Log I (A) dan Potensial (V) yang ditarik garis dari dua titik belok grafik tersebut, kemudian didapatkan titik potong garis tersebut yang menghasilkan data berupa laju korosi.



**Gambar 4.3** Kurva Polarisasi E versus Current Density Baja ASME 516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH

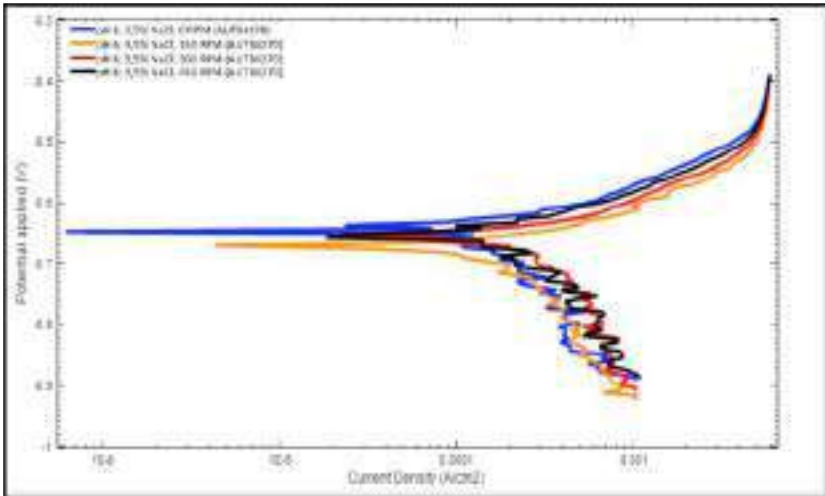
**Tabel 4.1** Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH.

Larutan	pH	Kecepatan Putar (RPM)	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	Corrosion Rate (mm/year)
3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH	5	0	-630,140	160,000	1.8592
		150	-631,800	162,050	1.8831
		300	-642,150	215,730	2.5068
		450	-658,330	554,380	6.4419



**Gambar 4.4** Grafik *Corrosion Rate Polarization* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH

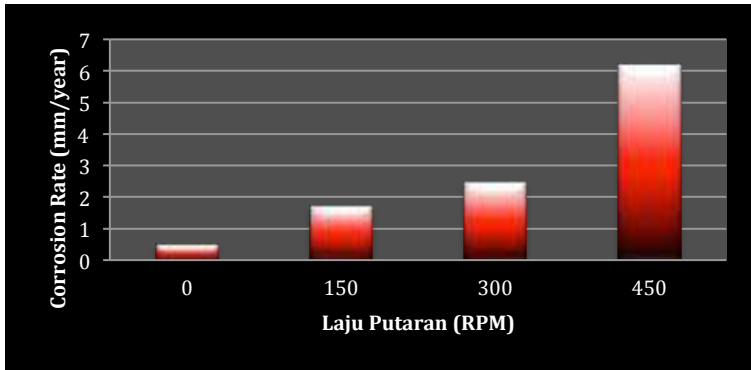
Gambar 4.4 menunjukkan laju korosi paling tinggi pada 450 RPM yaitu 6,4419 mm/year dan laju korosi paling rendah pada 0 RPM yaitu 1,8592 mm/year. Grafik laju korosi pada pH 5 ini memiliki tren yang naik. Titik kenaikan yang cukup signifikan terletak pada 300 RPM dengan nilai sebesar 2,5068 mm/y menuju ke kecepatan 450 RPM.



**Gambar 4.5** Kurva Polarisasi *E versus Current Density* Baja ASME 516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH

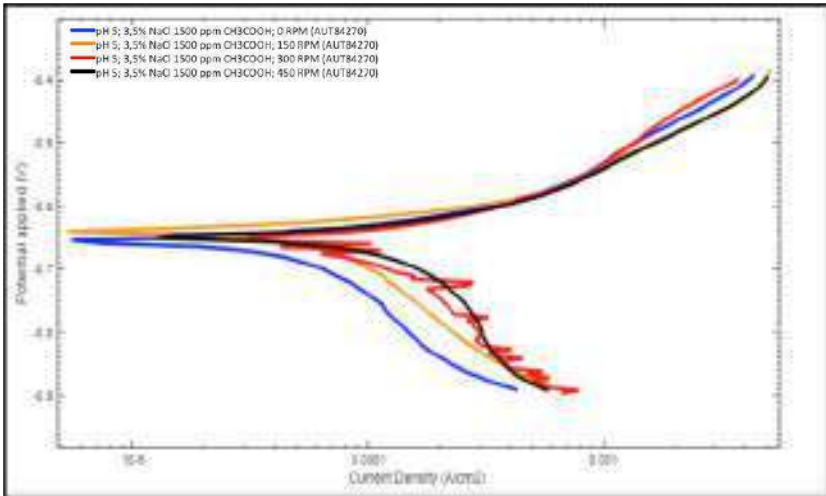
**Tabel 4.2** Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH.

Larutan	pH	Kecepatan Putar (RPM)	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	Corrosion Rate (mm/year)
3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH	6	0	-655,860	45,8080	0.5322
		150	-673,310	148,690	1.7278
		300	-651,780	212,680	2.4713
		450	-652,670	551,480	6.2081



**Gambar 4.6** Grafik *Corrosion Rate Polarization* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH

Gambar 4.6 menunjukkan pengaruh kecepatan putar terhadap laju korosi baja ASME 516 grade 70 pada larutan 3,5% NaCl dengan pH 6 lingkungan CO<sub>2</sub>. Pada kecepatan putar tertinggi yaitu 450 RPM memiliki laju korosi tertinggi sebesar 6,2081 mm/y dan laju korosi terendah pada kecepatan putar terendah yaitu 0 RPM sebesar 0,5322 mm/y. Sedangkan laju korosi pada kecepatan putar 150 RPM dan 300 RPM masing masing memiliki nilai sebesar 1,7278 mm/year dan 2,4713 mm/year, dari nilai laju korosi tersebut hubungan antara laju korosi dan kecepatan putar berjalan linier. Dapat dilihat pula peningkatan laju korosi pada 300 RPM dan 450 RPM mengalami kenaikan yang cukup signifikan dibandingkan peningkatan pada laju putaran yang lebih rendah.

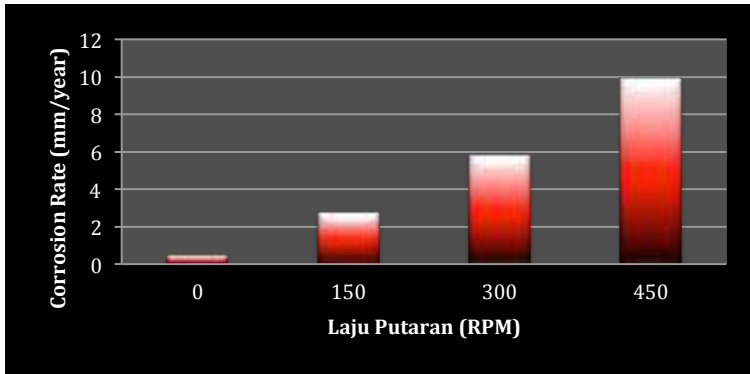


**Gambar 4.7** Kurva Polarisasi *E versus Current Density* Baja ASME 516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH

**Tabel 4.3** Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH.

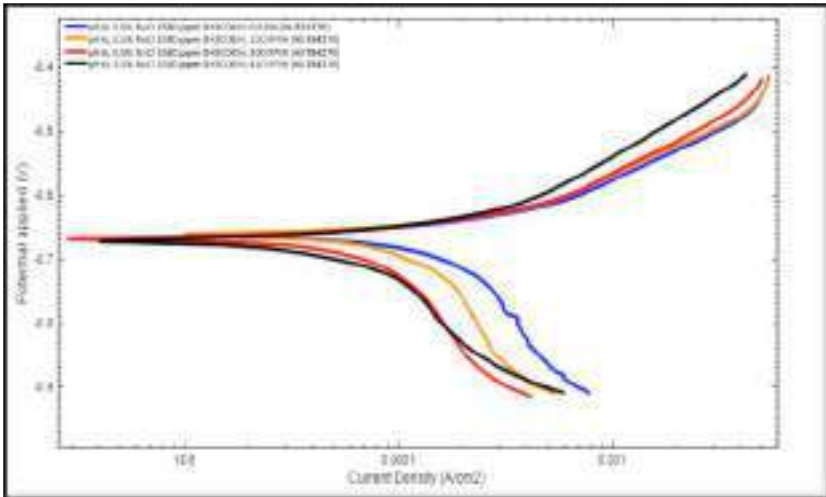
Larutan	pH	Kecepatan Putar (RPM)	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	Corrosion Rate (mm/year)
3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH	5	0	-669,490	41,6760	0.4842
		150	-657,760	239,820	2.7867
		300	-666,250	504,300	5.8599
		450	-663,240	854,760	9.9323





**Gambar 4.8** Grafik *Corrosion Rate Polarization* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH

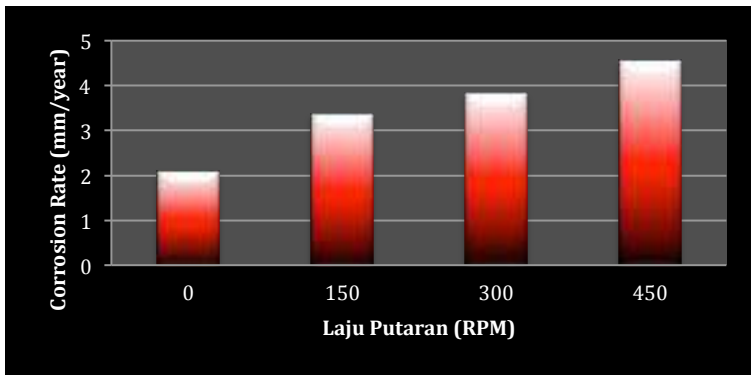
Gambar 4.8 menunjukkan tren laju korosi pada pH 5 meningkat cukup tajam mulai dari kecepatan putar terkecil yaitu 0 RPM menuju kecepatan putar terbesar yaitu 450 RPM,. Laju korosi paling tinggi didapat pada 450 RPM dengan nilai sebesar 9,9323 mm/year dan laju korosi paling rendah pada 0 RPM yaitu sebesar 0,4842 mm/year. Sedangkan pada kecepatan putar 150 RPM dan 300 RPM memiliki nilai laju korosi masing-masing sebesar 2,7867 mm/year dan 5,8599 mm/year. Dari beberapa parameter pH dan larutan, pada pH 5 dengan larutan 3,5% NaCl yang ditambahkan larutan CH<sub>3</sub>COOH dengan kadar 1500 ppm pada lingkungan CO<sub>2</sub> memiliki tren laju korosi yang paling terlihat peningkatannya seiring dengan kenaikan kecepatan putar yang diberikan.



**Gambar 4.9** Kurva Polarisasi E versus Current Density Baja ASME 516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH

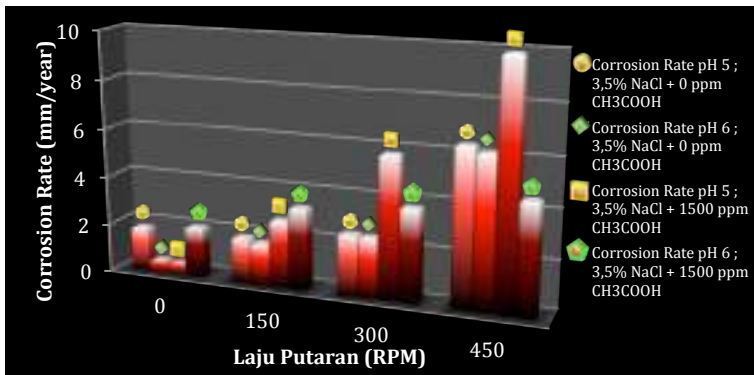
**Tabel 4.4** Data Hasil Pengujian Polarisasi pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH

Larutan	pH	Kecepatan Putar (RPM)	E <sub>corr</sub> (mV)	I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	Corrosion Rate (mm/year)
3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH	6	0	-688,780	181,620	2.1104
		150	-671,490	289,620	3.3654
		300	-677,530	329,490	3.8287
		450	-662,070	392,060	4.5557



**Gambar 4.10** Grafik *Corrosion Rate Polarization* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Gambar 4.10 menunjukkan pengaruh kecepatan putar terhadap laju korosi baja ASME 516 grade 70 pada larutan 3,5% NaCl yang ditambahkan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan kadar 1500 ppm dengan pH 6 lingkungan  $\text{CO}_2$ . Laju korosi paling besar didapatkan pada kecepatan putar tertinggi yaitu 450 RPM sebesar 4,5557 mm/year dan laju korosi terendah didapatkan pada kecepatan putar terendah yaitu 0 RPM sebesar 2,1104 mm/year. Sedangkan laju korosi pada kecepatan putar 150 RPM dan 300 RPM masing masing memiliki nilai sebesar 3,3654 mm/year dan 3,8387 mm/year, dari nilai laju korosi tersebut hubungan antara laju korosi dan kecepatan putar dapat dikatakan berjalan linier.



**Gambar 4.11** Perbandingan *Corrosion Rate* pada variasi pH, kecepatan putar, dan komposisi penambahan CH<sub>3</sub>COOH menggunakan metode *Polarization*.

Pada gambar 4.11, disajikan data *Corrosion Rate* yang didapatkan dari pengujian *Polarization* dengan variasi pH, kecepatan putar, dan komposisi penambahan CH<sub>3</sub>COOH. Dapat dilihat, tren yang terbentuk pada gambar cenderung naik seiring dengan besarnya kecepatan putar, baik dari putaran 0 RPM sampai 450 RPM. Pengaruh dari pH juga dapat terlihat pada grafik, semakin rendah pH yang dipakai semakin besar nilai laju korosi yang didapatkan. Selain hal itu, tren kenaikan nilai *corrosion rate* pada pH 6 terhadap penambahan CH<sub>3</sub>COOH lebih rendah dibandingkan dengan kenaikan nilai *corrosion rate* pH 5.

#### **IV.1.3 Hasil Pengujian *Weight Loss***

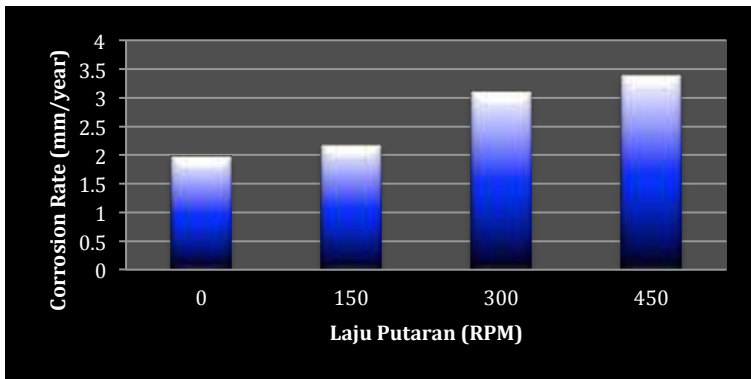
Berikut hasil analisa data mengenai pengaruh pH dan kecepatan putar terhadap laju korosi baja ASME SA516 gr 70, dari pengujian *weight loss* didapatkan data pada tabel 4.1.



**Tabel 4.5** Data Pengujian *Weight Loss*

Larutan	pH	Kecepatan Putar	Rata- Rata Corrosion Rate
3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH	5	0 RPM	1.9805
		150 RPM	2.1784
		300 RPM	3.1199
		450 RPM	3.3923
	6	0 RPM	1.6299
		150 RPM	1.9649
		300 RPM	2.7076
		450 RPM	3.1972
3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH	5	0 RPM	1,8144
		150 RPM	2.3183
		300 RPM	4.3338
		450 RPM	4.8795
	6	0 RPM	1.0362
		150 RPM	1.9989
		300 RPM	2.9776
		450 RPM	3.3481

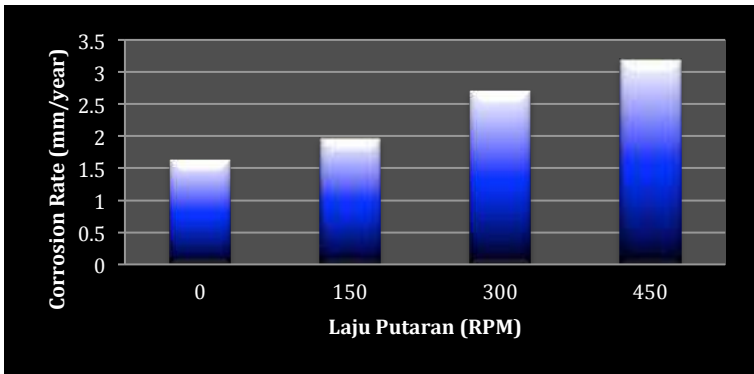
Dari data tersebut dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar terhadap laju korosi pada setiap pH.



**Gambar 4.12** Grafik *Corrosion Rate Weight Loss* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH

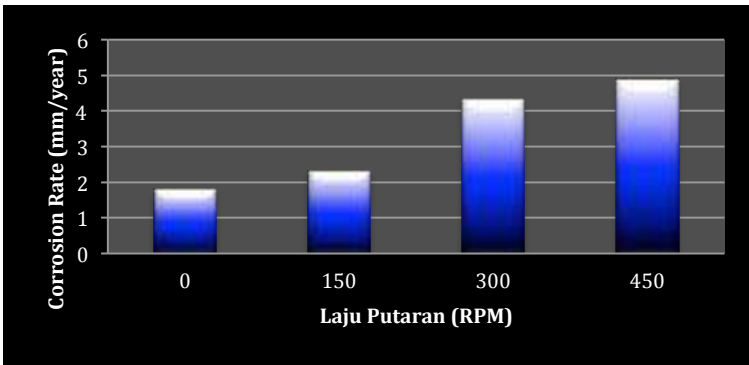


Gambar 4.12 menunjukkan pengaruh kecepatan putar terhadap laju korosi baja ASME SA516 grade 70 pada larutan 3,5% NaCl yang mengandung 0 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 5. Pada kecepatan putar tertinggi yaitu 450 RPM memiliki laju korosi tertinggi sebesar 3,3923 mm/y dan laju korosi terendah pada kecepatan putar terendah yaitu 0 RPM sebesar 1,9805 mm/y. Ditinjau dari data laju korosi yang didapat, hubungan antara laju korosi dan kecepatan putar berjalan linier.



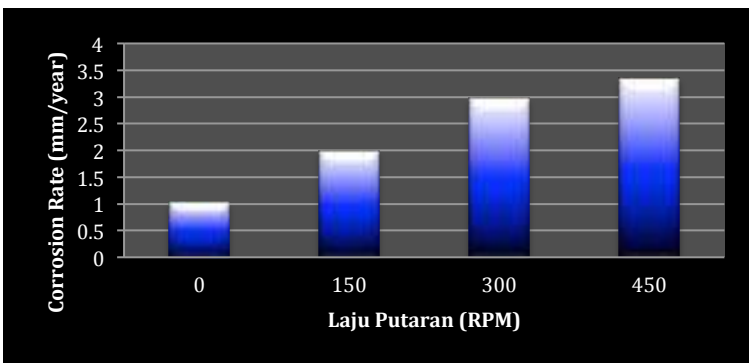
**Gambar 4.13** Grafik *Corrosion Rate Weight Loss* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Gambar 4.13 menunjukkan kecepatan putar berpengaruh meningkatkan laju korosi yang ditunjukkan pada nilai laju korosi paling besar pada kecepatan putar paling tinggi yaitu pada kecepatan putar 450 RPM dengan laju korosi sebesar 3,1972 mm/y dan laju korosi paling rendah yaitu pada 0 rpm dengan nilai laju korosi sebesar 1,6299 mm/y pada larutan 3,5% NaCl yang mengandung 0 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 6. Tren dari laju korosi yang didapat adalah linear.



**Gambar 4.14** Grafik *Corrosion Rate Weight Loss* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH

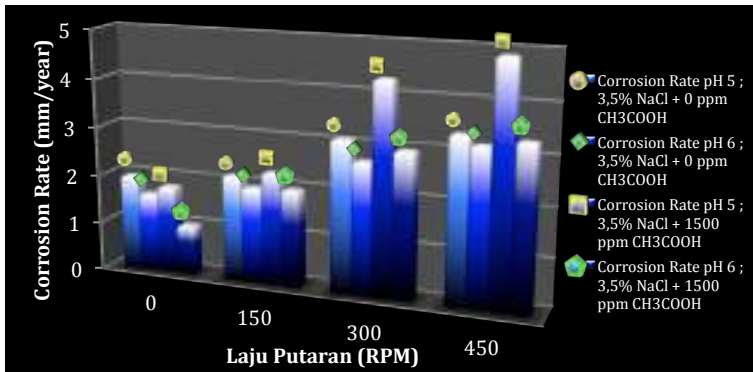
Gambar 4.14 menunjukkan laju korosi paling tinggi pada 450 RPM yaitu 4,8795 mm/y dan laju korosi paling rendah pada 0 RPM yaitu 1,8144 mm/y pada larutan 3,5% NaCl yang mengandung 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH dengan pH 5. Titik kenaikan yang cukup signifikan terletak pada 150 RPM menuju ke kecepatan 300 RPM. Secara keseluruhan laju korosi pada larutan elektrolit tersebut memiliki tren laju korosi yang meningkat pada setiap kenaikan kecepatan putar.



**Gambar 4.15** Grafik *Corrosion Rate Weight Loss* Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH



Gambar 4.15 menunjukkan tren laju korosi pada larutan 3,5% NaCl yang mengandung 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan pH 6 meningkat, laju korosi paling tinggi pada 450 RPM dengan nilai sebesar 3,3481 mm/y dan laju korosi paling rendah pada 0 RPM yaitu sebesar 1,0362 mm/y. Laju korosi pada larutan elektrolit ini memiliki tren yang sama dengan larutan sebelumnya. Peningkatan laju korosi pada pH 6 cenderung linear dan tidak ada peningkatan yang tampak drastis.



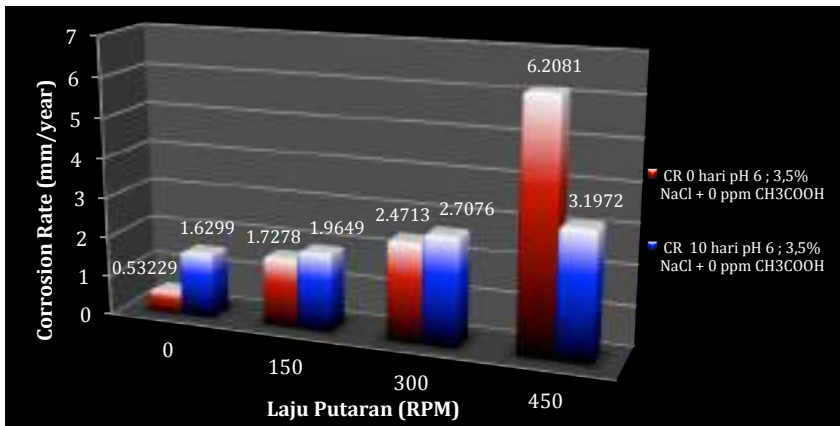
**Gambar 4.16** Perbandingan *Corrosion Rate* pada variasi pH, kecepatan putar, dan komposisi penambahan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  menggunakan metode *Weight Loss*.

Pada gambar 4.16, disajikan data *Corrosion Rate* yang didapatkan dari pengujian *Weight Loss* selama 10 hari dengan variasi pH, kecepatan putar, dan komposisi penambahan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Dapat dilihat, tren yang terbentuk pada gambar cenderung naik seiring dengan besarnya kecepatan putar, baik dari putaran 0 RPM sampai 450 RPM. Pengaruh dari pH juga dapat terlihat pada grafik, semakin rendah pH yang dipakai semakin besar nilai laju korosi yang didapatkan. Dari data yang didapat,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  berpengaruh menaikkan nilai laju korosi. Tren kenaikan nilai *corrosion rate* pada pH 6 terhadap penambahan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  lebih rendah dibandingkan dengan kenaikan nilai *corrosion rate* pH 5.





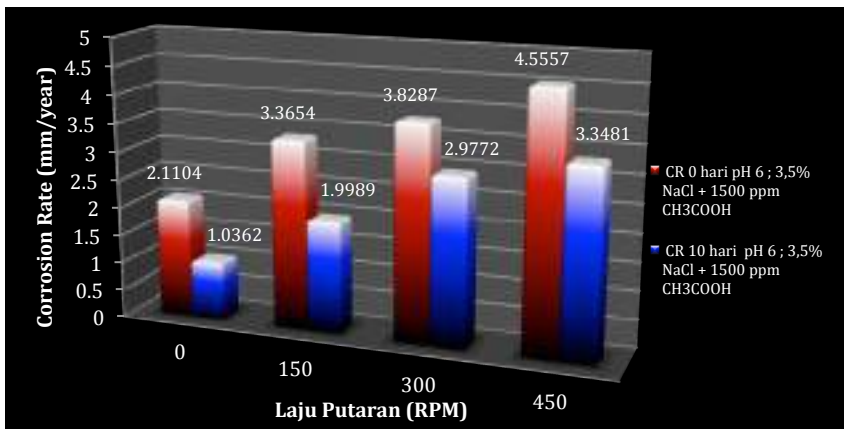
**Gambar 4.17** Grafik *tren corrosion rate* terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH



**Gambar 4.18** Grafik *tren corrosion rate* terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH



**Gambar 4.19** Grafik *tren corrosion rate* terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 5 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH



**Gambar 4.20** Grafik *tren corrosion rate* terhadap fungsi waktu Baja ASME SA516 grade 70 pada pH 6 larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH

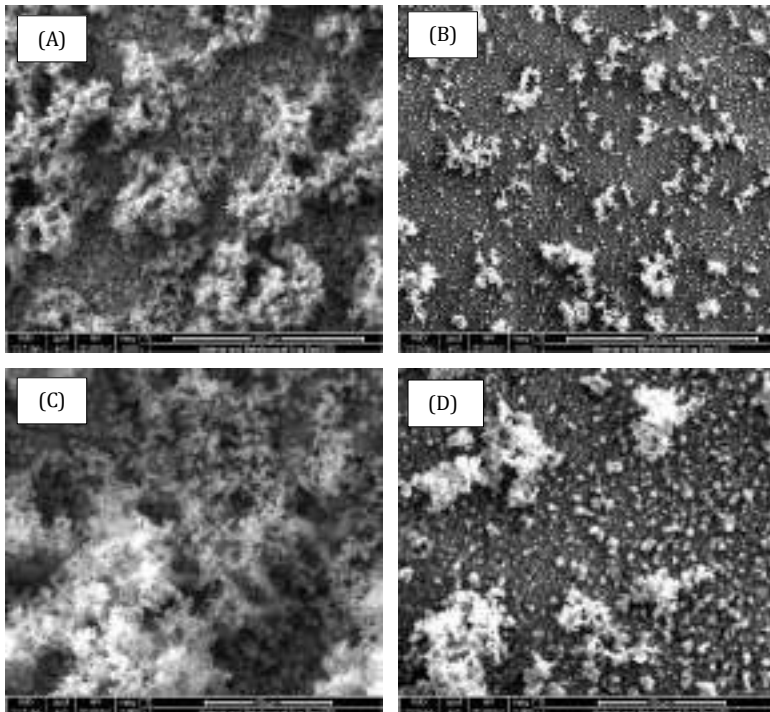


Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 merupakan data *corrosion rate* pada 0 hari dan 10 hari pada larutan elektrolit 3,5%NaCl yang mengandung  $\text{CH}_3\text{COOH}$  sebesar 0 ppm pada pH 5 dan 6. Pada kedua grafik tersebut hasil yang didapat mulai dari kecepatan 0 RPM sampai 300 RPM menunjukkan bahwa tren *corrosion rate* yang didapat memiliki tren yang cenderung naik dan pada kecepatan putar 450 RPM besar *corrosion rate* menurun.

Sedangkan pada gambar 4.19 dan gambar 4.20 merupakan data *corrosion rate* pada 0 hari dan 10 hari dengan larutan elektrolit 3,5%NaCl yang mengandung  $\text{CH}_3\text{COOH}$  sebesar 1500 ppm pada pH 5 dan 6. Pada grafik didapatkan tren *corrosion rate* yang cenderung turun seiring berjalannya waktu pada kecepatan putar 0 RPM sampai 450 RPM dan setiap pH.

#### **IV.1.4 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)**

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) biasanya digunakan untuk meneliti morfologi permukaan suatu material. Sampel yang diuji SEM adalah baja ASME SA516 grade 70, dengan perlakuan perendaman pada larutan elektrolit yang ditambahkan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan kadar 1500 ppm pada pH 5, 0 RPM dan 450 RPM. Uji SEM ini dilakukan untuk membandingkan morfologi permukaan baja ASME SA516 grade 70 yang telah dilakukan pengujian korosi pada kondisi diam dan kecepatan laju aliran fluida 450 RPM dengan pH 5. Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 menunjukkan hasil uji SEM pada sampel baja dengan kondisi diam pengujian *Weight Loss* dan setelah pengujian *Weight Loss* dengan kecepatan tertinggi.



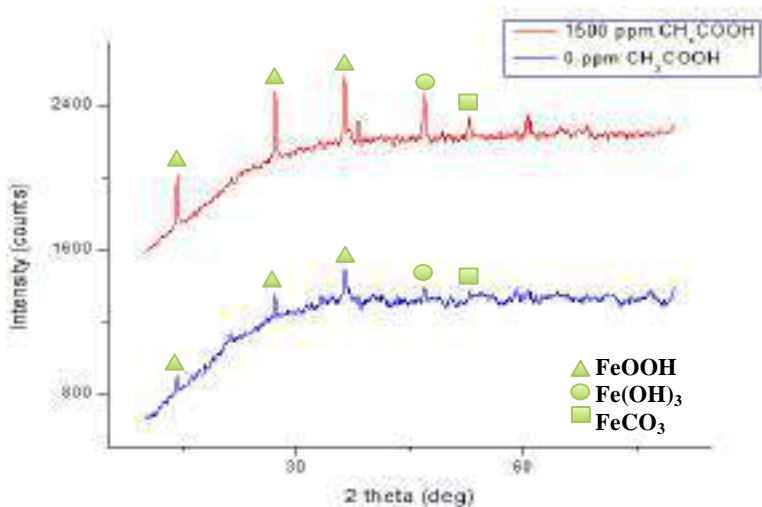
**Gambar 4.21** Hasil Uji SEM ASME SA516 gr 70 setelah Pengujian *Weight Loss* pada pH 5 (A) 0RPM;500x (B) 450RPM; 500x (C) 0RPM;2000x (D) 450RPM;2000x

Gambar 4.21 (A) menggambarkan perbesaran 500x *specimen* dengan kecepatan 0 RPM, morfologi permukaan logam yang terlihat bercak-bercak yang merata penyebarannya. Bercak yang didapat sangat rapat sehingga permukaan sample hampir tidak terlihat. Namun pada gambar 4.21 (B) menggambarkan pada perbesaran yang sama pada *specimen* yang diberi kecepatan putar 450 RPM menunjukkan bercak-bercak yang lebih kecil pada permukaan sample. Bercak pada permukaan sample terlihat sangat kecil yang tersebar merata. Hal tersebut merupakan efek dari kecepatan putar yang digunakan. Bercak yang diduga produk



korosi tergerus seiring dengan naiknya kecepatan putar dan terlihat merata penyebarannya. Setelah kedua gambar tersebut dilakukan pengambilan gambar pada perbesaran yang lebih besar yaitu pada perbesaran 2000x, didapatkan hasil yang ada pada gambar 4.21 (C) dan gambar 4.21 (D). Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa pada gambar (C) bercak terlihat sangat besar sedangkan pada gambar (D) bercak yang didapat jauh lebih banyak dan berukuran kecil yang cenderung homogen. Bercak-bercak tersebut diduga lapisan hasil produk korosi yang dilakukan pada metode *Weight Loss* selama 10 hari.

#### IV.1.5 Hasil Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

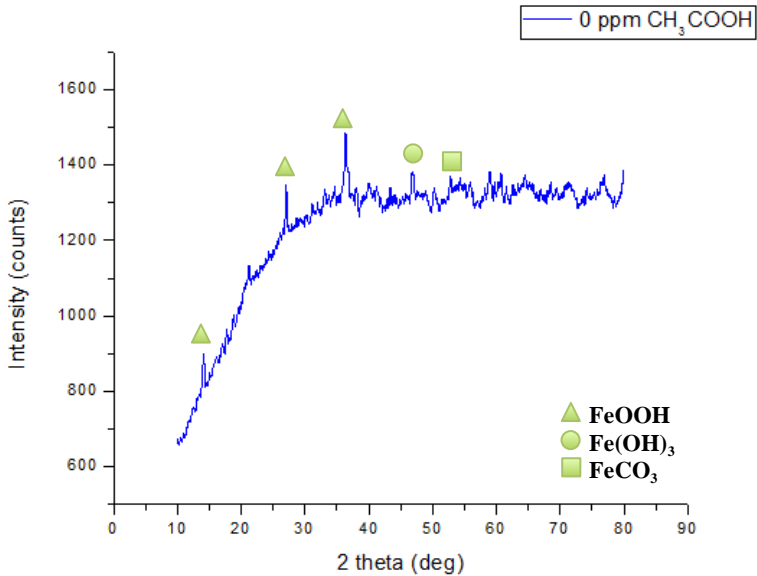


**Gambar 4.22** Hasil XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 1500 ppm dan 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH

Pengujian XRD dilakukan pada spesimen Baja ASME SA516 grade 70 perendaman pada uji *weight loss* menggunakan larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 0 ppm (garis biru) dan 1500 ppm (garis merah) CH<sub>3</sub>COOH pada pH 5. Dimana hasil pengujian XRD ditampilkan pada gambar 4.22. Pada gambar



4.22 adalah gambar hasil pengujian XRD dengan spesimen Baja ASME SA516 grade 70 pada pengujian weight loss selama 10 hari.



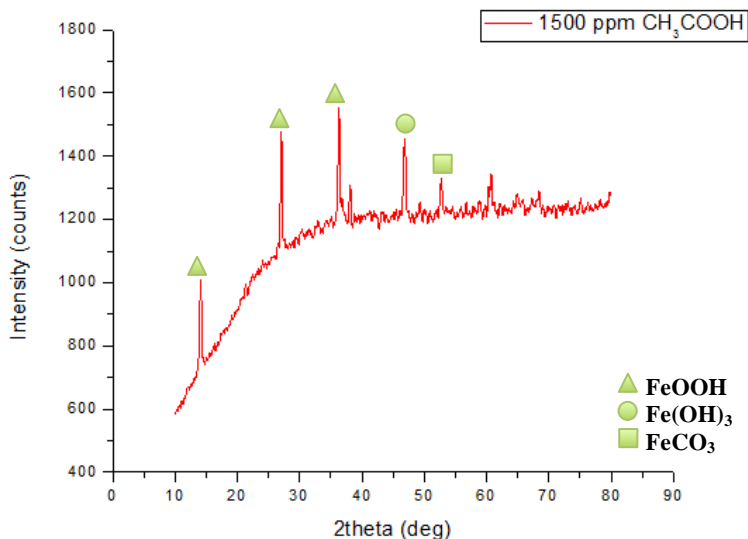
**Gambar 4.23** Hasil XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 0 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

**Tabel 4.6** Hasil Analisa *peak* pengujian XRD Baja ASME SA516 ade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 0 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Post [ $^{\circ}2\theta$ ]	Height [cts]	FWHM left [ $^{\circ}2\theta$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
14.1538	101.03	0.2362		58.82
20.9651	36.12	0.9446		21.03
27.0916	145.53	0.1968		84.72
36.2589	171.77	0.2362		100.00
46.9464	68.58	0.4723		39.93
50.3082	49.85	0.4723		29.02
58.7865	37.05	0.9446		21.57
76.8214	49.53	0.9446		28.84



Hasil pengujian XRD produk korosi dari Baja ASME SA516 grade 70 dengan kandungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  sebesar 0 ppm pada pH 5 ditunjukkan oleh gambar 4.23 dan tabel 4.6. Pada data tersebut didapat puncak tertinggi pertama, kedua dan ketiga dengan posisi  $2\theta$  secara berturut turut sebesar  $36.2589^\circ$ ,  $27.0816^\circ$  dan  $14.1538^\circ$  yang mempunyai intensitas sebesar 100.00, 84.72 dan 58.82 mengindikasikan adanya senyawa  $\text{FeOOH}$  dan pada puncak tertinggi berikutnya pada  $46.9464^\circ$  dan  $50.3082^\circ$  dengan besar intensitas sebesar 39.93 dan 28.02 berturut-turut terindikasi adanya senyawa  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{FeCO}_3$ .



**Gambar 4.24** Hasil XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$



**Tabel 4.7** Hasil Analisa *peak* pengujian XRD Baja ASME SA516 grade 70 pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH

Post [°2θ]	Height [cts]	FWHM left [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1674	332.82	0.1574		84.38
27.0535	394.45	0.0590		100.00
36.2371	387.59	0.1968		98.26
38.0914	147.94	0.2362		37.50
46.9637	242.15	0.1968		61.39
52.7461	114.39	0.2362		29.00
60.7286	144.23	0.1574		36.57

Sedangkan pada gambar 4.24 dan tabel 4.7 yang merupakan hasil analisa XRD Baja ASME SA516 grade 70 dengan kandungan CH<sub>3</sub>COOH sebesar 1500 ppm pada pH 5 menunjukkan puncak tertinggi pertama, kedua dan ketiga secara berturut turut pada posisi 2θ sebesar 27.0535°, 36.2371° dan 14.1674° serta besar intensitas sebesar 100.00, 98.26 dan 84.38 sehingga pada posisi tersebut menunjukkan bahwa senyawa yang teridentifikasi adalah senyawa FeOOH. Sedangkan pada posisi 2θ sebesar 46.9637° dan 52.7461° berturut-turut terindikasi sebagai senyawa Fe(OH)<sub>3</sub> dan FeCO<sub>3</sub>. Dimana senyawa FeCO<sub>3</sub> merupakan senyawa produk korosi utama dari CO<sub>2</sub> Corrosion.

## IV.2 Pembahasan

Jika dilihat dengan kasat mata, bentuk kurva *polarization* dari setiap larutan elektrolit, pH dan kecepatan putar memiliki kurva yang hampir serupa. Pada kurva katodik memiliki bentuk yang lebih tegak dibandingkan dengan kurva katodik dan itu berlaku pada setiap kurva yang didapat. Gambar 4.3 dan gambar 4.5 merupakan kurva *polarization* pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH. Sedangkan pada gambar 4.7 dan gambar 4.9 merupakan kurva *polarization* pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan 1500 ppm





CH<sub>3</sub>COOH. Dari kurva kedua larutan elektrolit tersebut, didapatkan perbedaan bahwa bentuk kurva *polarization* pada larutan elektrolit yang mengandung 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH memiliki lebih banyak *noise* dibandingkan dengan larutan elektrolit yang mengandung 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH.

Selain itu bentuk kurva yang didapat seiring dengan menurunnya pH dan besarnya kecepatan putar cenderung bergeser keatas. Hal tersebut dapat di artikan bahwa adanya variasi kecepatan putaran atau laju alir dapat menggeser reaksi elektrokimia menjadi lebih anodik, artinya reaksi baja lebih dominan dibanding pada reaksi elektrolit. Dilihat dari kurva katodik, pada larutan elektrolit pH 5 pada penambahan CH<sub>3</sub>COOH sebanyak 1500 ppm maupun tanpa penambahan, dan juga pada pH 6 tanpa penambahan CH<sub>3</sub>COOH memiliki kurva katodik yang cenderung bergeser keatas dibandingkan dengan kecepatan yang lebih kecil. Sedangkan pada kecepatan putar 450 RPM pada pH 6 dengan penambahan CH<sub>3</sub>COOH sebanyak 1500 ppm kecepatan putar 450 RPM memiliki kurva katodik yang bergeser kebawah dibandingkan dengan kecepatan yang lebih rendah.

Data hasil pengujian *polarization* dan *weight loss* selama 10 hari ditunjukkan pada gambar 4.17 hingga sampai pada gambar 4.20. Pada gambar grafik tersebut terlihat bahwa adanya peningkatan kecepatan putar meningkatkan laju korosi pada Baja ASME SA516 grade 70. Kecepatan putar dapat dikonversikan sebagai laju aliran fluida, dimana hal tersebut dapat menyebabkan meningkatnya laju korosi, dikarenakan laju difusi juga naik seiring dengan laju aliran pada fluida yang berubah. Perbedaan juga didapatkan pada besarnya nilai laju korosi yang didapat antara menggunakan metode *polarization* dan *weight loss*. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa nilai *corrosion rate* memiliki kecenderungan naik terhadap fungsi waktu pada 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH pH 5 dan 6 dengan kecepatan putar 0 RPM, 150 RPM dan 300 RPM, tetapi hal sebaliknya terjadi pada kecepatan 450 RPM. Sedangkan pada larutan yang mengandung 1500 ppm



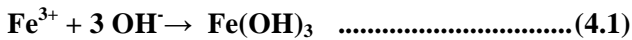
CH<sub>3</sub>COOH pH 5 dan 6, bahwa nilai *corrosion rate* memiliki kecenderungan turun terhadap fungsi waktu pada setiap kecepatan putar yang dipakai. Dapat ditarik kesimpulan bahwa seiring berjalanya fungsi waktu, pada larutan yang mengandung 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH mengalami kenaikan nilai *corrosion rate* sampai dengan kecepatan 300 RPM dan turun pada kecepatan 450 RPM. Sedangkan pada larutan yang mengandung 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH mengalami penurunan pada setiap kecepatan putar.

Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang dilakukan pada material yang telah dilakukan pengujian *weight loss* pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan CH<sub>3</sub>COOH sebesar 1500 ppm pH 5 yang diberi putaran 0 RPM dan 450 RPM. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil berupa gambar morfologi permukaan yang diduga sebagai produk korosi. Pada kecepatan 0 RPM, produk korosi yang didapatkan cenderung lebih rapat yang diindikasikan dari besarnya bercak bercak pada permukaan sample. Sedangkan pada kecepatan 450 RPM, bercak bercak tersebut lebih terlihat kecil dan cenderung merata. Hal tersebut merupakan pengaruh dari kecepatan putar yang dipakai. Besarnya kecepatan putar diduga menggerus dari lapisan produk korosi yang dihasilkan yang terlihat dari hasil yang didapat pada kecepatan putar 450 RPM. Pada kecepatan tersebut, bercak bercak yang lebih kecil yang cenderung merata merupakan pengaruh gerusan yang ditimbulkan karena adanya abrasi karena adanya kontak antara larutan elektrolit dengan *specimen* saat diputar.

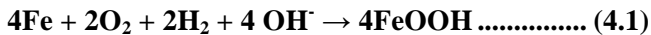
Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) ditujukan untuk mengetahui senyawa hasil produk korosi. Pada pengujian kali ini sample yang diambil berupa produk korosi yang berada pada dasar media elektrolit. Pengujian tersebut dilakukan pada material yang telah dilakukan perendaman selama 10 hari di dalam larutan elektrolit 3,5% NaCl dengan kandungan CH<sub>3</sub>COOH sebesar 0 ppm dan 1500 ppm pH5. Pada larutan elektrolit yang mengandung 0 ppm dan 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH didapatkan produk korosi berupa senyawa FeCO<sub>3</sub>, Fe(OH)<sub>3</sub>, dan FeOOH. Diantara



dua larutan elektrolit tersebut, didapatkan perbedaan pada kuantitas setiap senyawa yang dihasilkan. Pada pada kandungan 0 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  didapatkan kadar  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  yang mendominasi dibandingkan 2 senyawa produk korosi lainnya. Sedangkan kandungan 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , kadar  $\text{FeOOH}$  mendominasi dibandingkan dengan  $\text{FeCO}_3$  dan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  terbentuk karena adanya reaksi  $\text{Fe}^{3+}$  dari material sample yang bereaksi dengan  $\text{OH}^-$  dari larutan elektrolit yang dijelaskan persamaan 2.20.



Senyawa  $\text{FeCO}_3$  merupakan produk korosi dari  $\text{CO}_2$  *Corrosion* sesuai persamaan 2.10. Selain itu didapatkan senyawa produk korosi lainya yaitu  $\text{FeOOH}$ . Reaksi terbentuknya  $\text{FeOOH}$  sebagai berikut :



Senyawa  $\text{FeOOH}$  ini terbentuk akibat reaksi dari Fe dengan ion hidroksil yang berasal dari  $\text{H}_2\text{O}$  pada larutan dan  $\text{O}_2$ .  $\text{O}_2$  dapat muncul jika larutan diberikan perlakuan pada temperature tertentu, tetapi pada penelitian ini menggunakan temperature kamar. Udara yang berada pada lingkungan diindikasikan sebagai factor utama adanya  $\text{O}_2$  yang dapat menyebabkan terbentuknya senyawa produk korosi  $\text{FeOOH}$ . Dapat disimpulkan pada hasil pengujian SEM sebelumnya menunjukkan bahwa bercak-bercak yang muncul merupakan campuran senyawa produk korosi  $\text{FeOOH}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{FeCO}_3$

Dari keseluruhan penelitian yang telah di lakukan pengaruh dari peningkatan kecepatan laju putaran, penurunan pH, maupun penambahan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  cenderung meningkatkan nilai *corrosion rate* pada Baja ASME SA516 grade 70 yang digunakan dengan di buktikan pada pengujian *polarization* dan *weight loss* pada tabel 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5 yang menunjukkan adanya kenaikan laju korosi dalam setiap kenaikan kecepatan putaran



serta penurunan pH. Dengan berjalannya waktu, nilai *corrosion rate* cenderung turun pada larutan yang mengandung 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Selain itu, produk korosi yang terbentuk berupa  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , dan  $\text{FeOOH}$ .

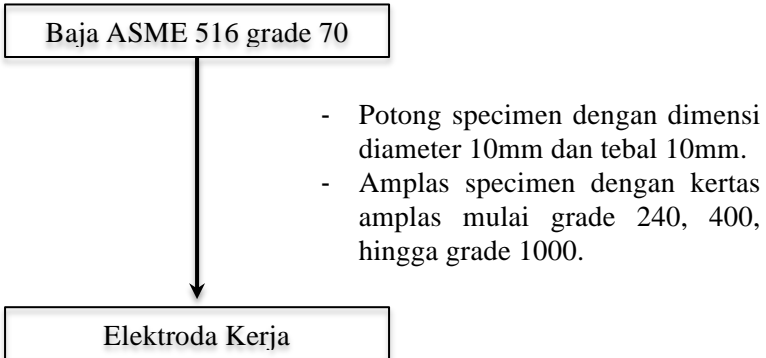
Efek yang terjadi dari kandungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  adalah menambah senyawa produk korosi baru berupa ion  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  yang berikatan dengan  $\text{Fe}^{2+}$ , tetapi pada penelitian ini tidak ditemukan produk korosi tersebut. Pada penelitian Nazari (2010) disebutkan bahwa tidak adanya produk korosi dari  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Pada konsentrasi diatas 2000 ppm ditemukan produk korosi lebih yang sedikit dan terindikasi produk korosi larut pada elektrolit. Hal tersebut dikarenakan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dapat mempengaruhi kelarutan dari produk korosi yang terbentuk dan produk korosi tersebut larut pada larutan elektrolit.



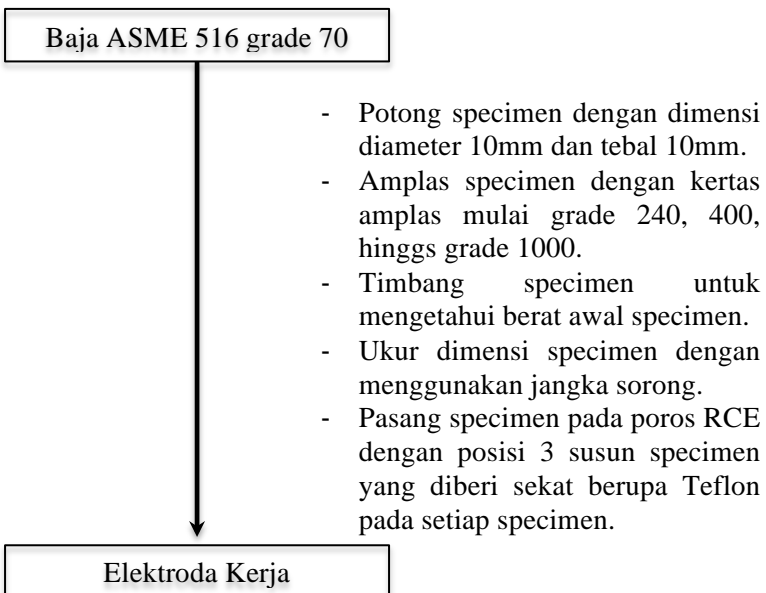
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### 1. Pembuatan Elektroda Kerja



### 2. Pembuatan Spesimen Weight Loss



### 3. Pembuatan Media Elektrolit

Larutan 3,5% NaCl pH 6

Larutan 3,5% NaCl

- Memasukkan serbuk NaCl sebanyak 35,64 gram ke dalam *beaker glass*.
- Memasukkan aquades ke dalam *beaker glass* sampai mencapai volume 1 L.
- Melakukan *purging* Gas CO<sub>2</sub> sebagai *deoxygenated* selama 30 menit.
- Mengukur pH larutan.
- Menambahkan serbuk NaHCO<sub>3</sub> sebagai buffer guna menaikkan pH hingga mencapai pH 6.
- Mengukur pH larutan hingga stabil pada pH 6.

Larutan 3,5% NaCl pH 6

Larutan 3,5% NaCl pH 5

Larutan 3,5% NaCl

- Memasukkan serbuk NaCl sebanyak 35,64 gram ke dalam *beaker glass*.
- Memasukkan aquades ke dalam *beaker glass* sampai mencapai volume 1 L.

A

A

- Melakukan *purging* Gas  $\text{CO}_2$  sebagai *deoxygenated* selama 30 menit.
- Mengukur pH larutan.
- Menambahkan serbuk  $\text{NaHCO}_3$  sebagai buffer guna menaikkan pH hingga mencapai pH 5.
- Mengukur pH larutan hingga stabil pada pH 5.

Larutan 3,5% NaCl pH 5

Larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 6

Larutan 3,5% NaCl

- Memasukkan larutan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  sebanyak 1,458 mL ke dalam *beaker glass*.
- Memasukkan aquades ke dalam *beaker glass* sampai mencapai volume 1 L.
- Melakukan *purging* Gas  $\text{CO}_2$  sebagai *deoxygenated* selama 90 menit.
- Mengukur pH larutan.
- Menambahkan serbuk  $\text{NaHCO}_3$  sebagai buffer guna menaikkan pH hingga mencapai pH 6.
- Mengukur pH larutan hingga stabil pada pH 6.

Larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  pH 6



Larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH pH 5

Larutan 3,5% NaCl

- Memasukan larutan CH<sub>3</sub>COOH sebanyak 1,458 mL ke dalam *beaker glass*.
- Memasukan aquades ke dalam *beaker glass* sampai mencapai volume 1 L.
- Melakukan *purging* Gas CO<sub>2</sub> sebagai *deoxygenated* selama 90 menit.
- Mengukur pH larutan.
- Menambahkan serbuk NaHCO<sub>3</sub> sebagai buffer guna menaikkan pH hingga mencapai pH 5.
- Mengukur pH larutan hingga stabil pada pH 5.

Larutan 3,5% NaCl + 1500 ppm  
CH<sub>3</sub>COOH pH 5

#### 4. Metode Tafel

Bahan  
(Spesimen dan Media Elektrolit)

A

- Mencolokkan kabel monitor, CPU, dan Versastat 4.
- Menyalakan CPU, monitor, dan Versastat 4.
- Memasang elektroda (electrode kerja, electrode bantu, electrode

A

acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam media korosi.

- Memasang kabel pada tiap komponen electrode.

Menjalankan Software Nova

- Menyalakan program Versastat.
- Memilih program Tafel sebagai program yang diinginkan.
- Mengisi parameter pada kolom "***Properties for Tafel***" dan "***Properties for Common***".
- Memulai software NOVA 1.8 dengan mengklik *play*.
- Setelah selesai menjalankan program vesastat yang ditandai dengan tulisan "CELL OFF" pada kiri bawah, maka akan muncul grafik tafel.
- Kemudian mengklik nilai ujung kiri pada grafik tafel yang dihasilkan. Nilai tersebut adalah nilai  $E_{corr}$ . Setelah mengetahui nilai  $E_{corr}$ , kemudian memblok  $\pm 100$  mV (sesuai dengan Initial dan Final Potential yang telah diisikan pada "***Properties for Tafel***" pada nilai  $E_{corr}$  nya di *Data view*).
- Daerah tersebut adalah daerah dimana nantinya akan mendapat nilai  $i_{corr}$  dan lanju korosinya (CR).

Menghitung nilai  $E_{corr}$ ,  $I_{corr}$ , dan CR

## 5. Metode Uji Weight Loss

Bahan  
(Spesimen dan Media Elektrolit)

- Siapkan rangkaian RCE yang sudah terpasang 3 susun specimen dengan dimensi diameter 10 mm dan tebal 10 mm pada tiap rangkaian.
- Siapkan toples sebagai tempat elektrolit.
- Memasukan larutan elektrolit ke dalam toples.
- Rendam dan putar specimen di dalam toples yang berisi larutan elektrolit yang diberikan *purging* gas CO<sub>2</sub>.

Menghitung nilai  $E_{\text{corr}}$ ,  $I_{\text{corr}}$ , dan CR

- Pengambilan gambar, pencucian menggunakan metode *brushing* sesuai standar ASTM G1 dan penimbangan.
- Lakukan langkah diatas untuk specimen dengan kecepatan putar 0 RPM, 150 RPM, 300 RPM, dan 450 RPM pada larutan elektrolit 3,5% NaCl dan 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH pada lingkungan CO<sub>2</sub>.

Mendapatkan selisih berat specimen

**PERHITUNGAN CORROSION RATE  
METODE WEIGHTLOSS**

Larutan	pH	Kecepatan Putar	Massa Awal	Massa Akhir	Selisih Massa	Corrosion Rate	Rata- Rata Corrosion Rate
3,5% NaCl + 0 ppm CH <sub>3</sub> COOH	5	0 RPM	5.0311	4.9604	0.0707	1.9520	1.9805
			5.0443	4.9848	0.0595	1.6427	
			5.0499	4.9649	0.085	2.3468	
		150 RPM	5.0796	5.004	0.0756	2.0873	2.1784
			5.0702	4.9487	0.1215	3.3546	
			5.0515	5.0119	0.0396	1.0933	
		300 RPM	5.05	4.9554	0.0946	2.6118	3.1199
			5.0585	4.9443	0.1142	3.1530	
			5.0665	4.9363	0.1302	3.5948	
		450 RPM	5.0796	4.9534	0.1262	3.4843	3.3923
			5.0487	4.9289	0.1198	3.3076	
			5.0721	4.9495	0.1226	3.3849	
	6	0 RPM	5.0399	4.9374	0.1025	2.8300	1.6299
			5.0971	5.048	0.0491	1.3556	
			5.0198	4.9943	0.0255	0.7040	
		150 RPM	5.0892	5.0231	0.0661	1.8250	1.9649
			5.0323	4.9498	0.0825	2.2778	
			5.0462	4.9813	0.0649	1.7918	
		300 RPM	5.0793	4.9746	0.1047	2.8907	2.7076
			5.0331	4.9235	0.1096	3.0260	
			5.0836	5.0037	0.0799	2.2060	
		450 RPM	5.1332	5.0212	0.112	3.0923	3.1972
			5.0321	4.9191	0.113	3.1199	
			5.1242	5.0018	0.1224	3.3794	
3,5% NaCl + 1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH	5	0 RPM	4.9571	4.887	0.0701	1.9354	1.8144
			5.1005	5.0267	0.07335	2.0251	
			4.9982	4.9445	0.0537	1.4826	
		150 RPM	5.0464	4.9468	0.0996	2.7499	2.3183
			5.0643	4.9927	0.0716	1.9768	
			5.0799	4.9992	0.0807	2.2281	
		300 RPM	5.1241	4.9682	0.1559	4.3043	4.3338
			5.0675	4.9123	0.1552	4.2850	
			5.0797	4.9199	0.1598	4.4120	
		450 RPM	5.1467	4.9645	0.1822	5.0305	4.8795
			5.0374	4.8673	0.1701	4.6964	
			5.1013	4.9234	0.1779	4.9118	

6	0 RPM	5.1674	5.1255	0.0419	1.1568	1.0362
		4.9669	4.9326	0.0343	0.9470	
		5.1065	5.0701	0.0364	1.0050	
	150 RPM	5.1125	5.0321	0.0804	2.2198	1.9989
		5.065	5.0005	0.0645	1.7808	
		5.0992	5.0269	0.0723	1.9961	
	300 RPM	4.992	4.8899	0.1021	2.8189	2.9776
		5.0327	4.9208	0.1119	3.0895	
		5.1282	5.0187	0.1095	3.0232	
	450 RPM	5.0512	4.9321	0.1191	3.2883	3.3481
		5.0882	4.9572	0.131	3.6168	
		5.1129	4.9992	0.1137	3.1392	

### PERHITUNGAN LAJU ALIRAN FLUIDA

Nilai *Reynold Number* menunjukkan karakteristik aliran fluida :

Re < 200      à Aliran Laminar

Re = 200      à Aliran Transisi

Re > 200      à Aliran Turbulen

Untuk mendapatkan nilai *Reynold Number* harus mengkonversi kecepatan linear, kemudian bisa dihitung Re :

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

Dimana:  $U$  = Kecepatan Linear (cm/s<sup>2</sup>)

$\pi$  = 3,14

$D$  = Diameter Spesimen (cm)

$F$  = Kecepatan Putar (RPM)

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Dimana:  $Re$  = *Reynold Number*

$\rho$  = Massa Jenis (g/cm<sup>3</sup>)

$U$  = Kecepatan Linear (m/s)

$D$  = Diameter Spesimen (cm)

$\mu$  = Viskositas Dinamik (g/cm.s)

## Larutan Elektrolit 3,5% NaCl

Perhitungan *Reynold Number* pada 0 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 0}{60}$$

$$U = 0$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0 \times 1 \times 1.018405}{0,00891}$$

$$Re = 0 \text{ (aliran statis)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 150 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 150}{60}$$

$$U = 7,85$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{7,85 \times 1 \times 1.018405}{0,00891}$$

$$Re = 897,247 \text{ (aliran turbulen)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 300 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 300}{60}$$

$$U = 15,7$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{15,7 \times 1 \times 1.018405}{0,00891}$$

$$Re = 1794,495 \text{ (aliran turbulen)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 450 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 450}{60}$$

$$U = 23,55$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{23,55 \times 1 \times 1.018405}{0,00891}$$

$$Re = 2691,744 \text{ (aliran turbulen)}$$

### **Larutan Elektrolit 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH**

Perhitungan *Reynold Number* pada 0 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 0}{60}$$

$$U = 0$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0 \times 1 \times 1.018405}{0,00891}$$

$$Re = 0 \text{ (aliran statis)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 150 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 150}{60}$$

$$U = 7,85$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$



$$Re = \frac{7,85 \times 1 \times 1,049}{0,00891}$$

$$Re = 924,203 \text{ (aliran turbulen)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 300 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 300}{60}$$

$$U = 15,7$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{15,7 \times 1 \times 1,049}{0,00891}$$

$$Re = 1848,406 \text{ (aliran turbulen)}$$

Perhitungan *Reynold Number* pada 450 RPM :

- Menghitung kecepatan linear

$$U = \frac{\pi \cdot D \cdot F}{60}$$

$$U = \frac{3,14 \times 1 \times 450}{60}$$

$$U = 23,55$$

- Menghitung *Reynold Number*

$$Re = \frac{U \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{23,55 \times 1 \times 1,049}{0,00891}$$

$$Re = 2772,609 \text{ (aliran turbulen)}$$

### **PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN ELEKTROLIT 3,5% NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH**

Pembuatan elektrolit dilakukan dengan mencampurkan serbuk kristal NaCl yang dilarutkan dengan aquades.

Pembuatan Larutan Uji :

Diketahui : Volume pelarut = 1000 mL

Ditanya : Massa NaCl yang dilarutkan = ?

Jawab :

$$\begin{aligned} \rho \text{ larutan} &= (\rho_{\text{air}} \times \%_{\text{air}}) + (\rho_{\text{NaCl}} + \%_{\text{NaCl}}) \\ &= (0,977 \text{ g/mL} \times 96,5\%) + (2,16 \text{ g/mL} \times 3,5\%) \\ &= 0,942805 + 0,0756 \\ &= 1,018405 \text{ g/mL} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\begin{aligned} m &= \rho \times V \\ &= 1,018405 \text{ g/mL} \times 1000 \text{ mL} \\ &= 1018,405 \text{ gram} \end{aligned}$$

Sehingga massa NaCl yang dilarutkan adalah :

$$3,5\% \times 1018,405 \text{ gram} = 35,644175 \text{ gram} \approx \mathbf{35,64 \text{ gram}}$$

### **PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN ELEKTROLIT 3,5% NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH**

Pembuatan elektrolit 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH pada 3,5% NaCl dilakukan dengan cara mencampurkan larutan CH<sub>3</sub>COOH

dengan larutan elektrolit 3,5% hingga mencapai kadar 1500 ppm. Asam asetat yang digunakan memiliki kadar 99%.

$$C_{(\text{ppm})} = 1000000 \times m_{\text{solute}} / (m_{\text{solution}} + m_{\text{solute}})$$

$$1500 = 1000000 \times m_{\text{solute}} / (1018.4 + m_{\text{solute}})$$

$$1500 \times (1018.4 + m_{\text{solute}}) = 1000000 \times m_{\text{solute}}$$

$$1527600 + 1500 m_{\text{solute}} = 1000000 m_{\text{solute}}$$

$$1527600 = 1000000 m_{\text{solute}} - 1500 m_{\text{solute}}$$

$$998500 m_{\text{solute}} = 1527600$$

$$m_{\text{solute}} = \mathbf{1.5298 \text{ gram}}$$

atau

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V$$

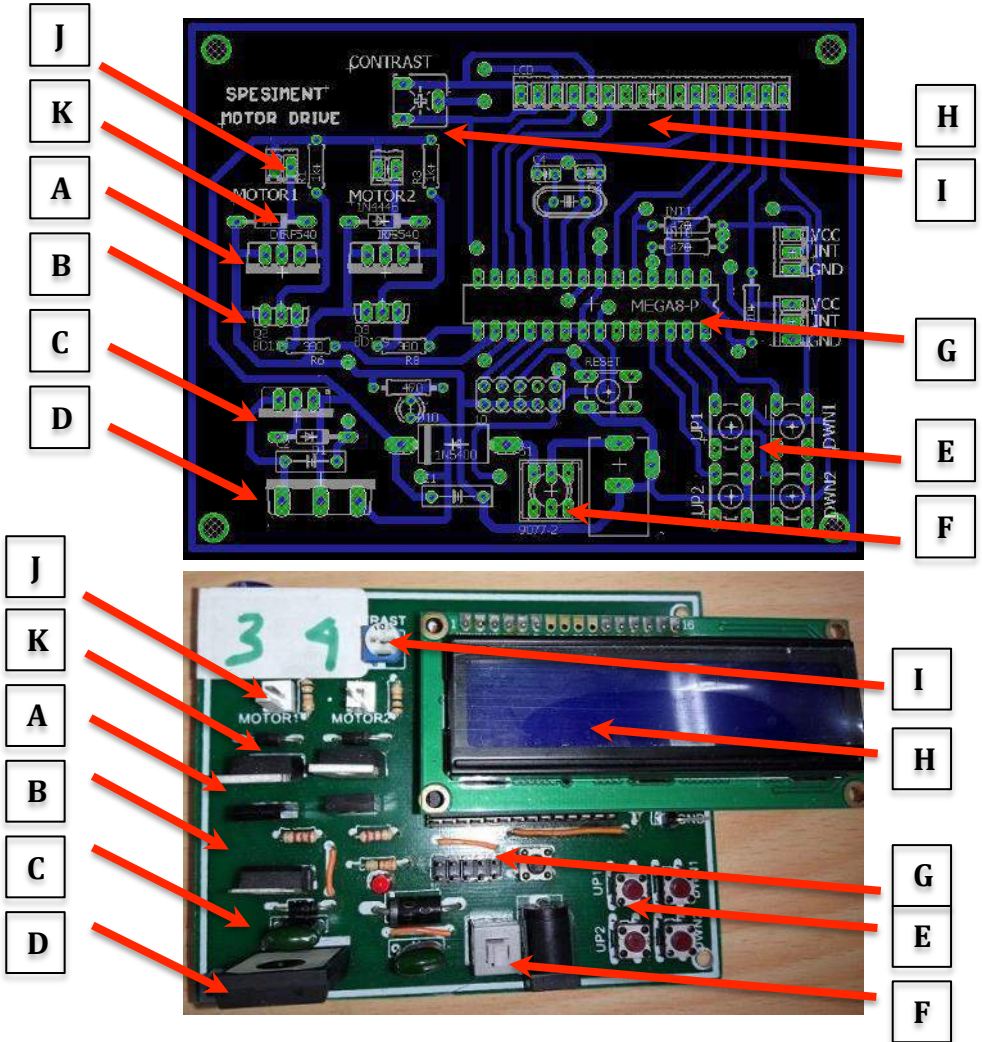
$$1,5298 \text{ gram} = \rho \times V$$

$$= 1.049 \text{ g/mL} \times 99\% \times V$$

$$V = 1.5298 \text{ gram} / 1,03851 \text{ gram/mL}$$

$$= \mathbf{1.473072 \text{ mL}}$$

## PENJELASAN FUNGSI KOMPONEN MICRO CONTROLLER



**Gambar** (1) Skema micro controller, (2) Produk micro controller

Keterangan :

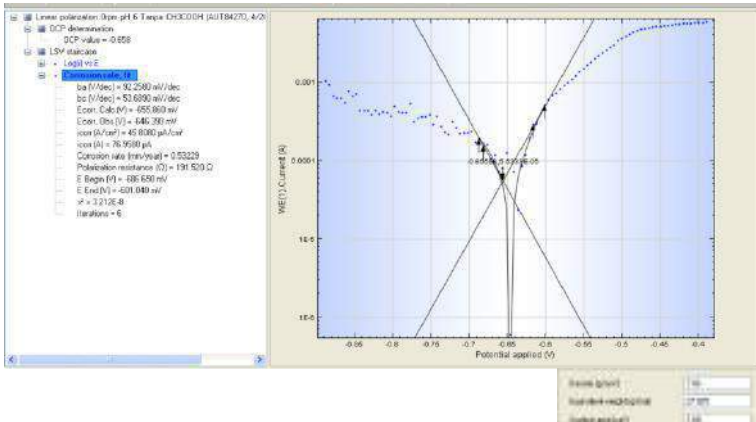
- A) Mosfet DC : Sebagai saklar otomatis penggerak motor
- B) BD139 : Memberikan pulsa PWM pada mosfet
- C) LM7805 : Regulator penurun tegangan 12Vdc ke 5VDC
- D) TIP3055 : Penguat arus ke rangkaian
- E) Saklar : Menghubungkan dan memutus arus listrik
- F) Push Button : Digunakan untuk mengatur kecepatan motor
- G) Atmega8 : Mikrokontroler / sebagai pusat kendali sistem
- H) LCD : Untuk menampilkan nilai PWM
- I) Contrast : Untuk mengatur kecerahan LCD
- J) Motor : Konektor ke dinamo
- K) Dioda : Membatasi arus yang masuk.

## HASIL PENGUJIAN TAFEL POLARIZATION

### Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 0rpm pH 6 tanpa  $\text{CH}_3\text{COOH}$

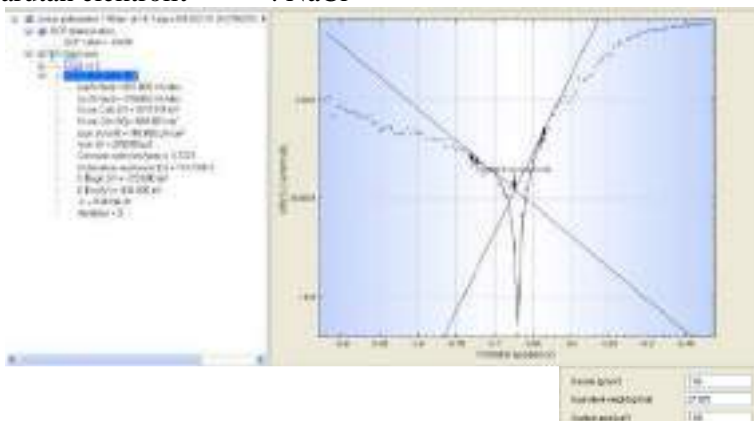
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 150rpm pH 6 tanpa  $\text{CH}_3\text{COOH}$

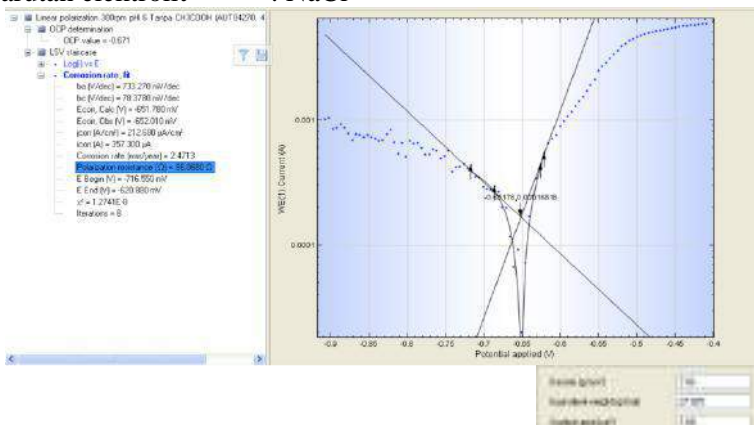
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 300rpm pH 6 tanpa  $\text{CH}_3\text{COOH}$

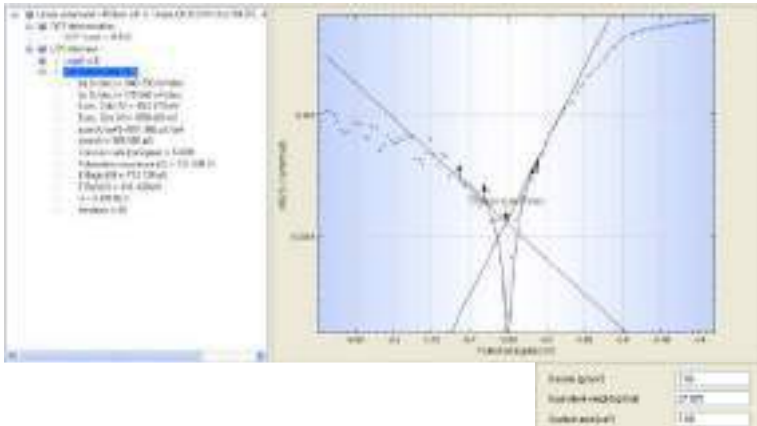
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 450rpm pH 6 tanpa  $\text{CH}_3\text{COOH}$

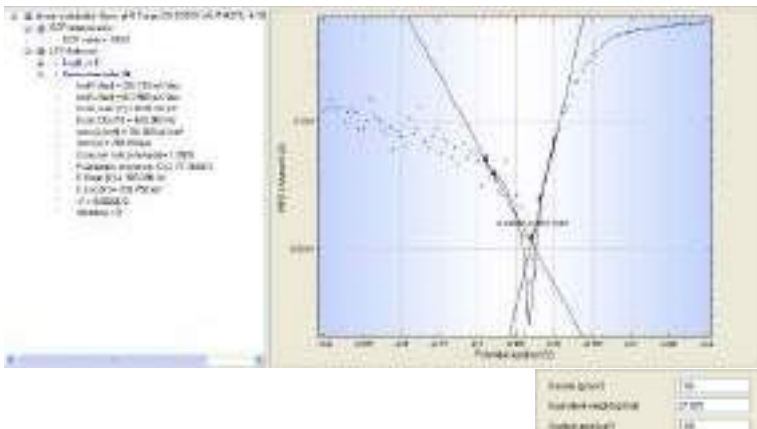
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 0rpm pH 5 tanpa  $\text{CH}_3\text{COOH}$

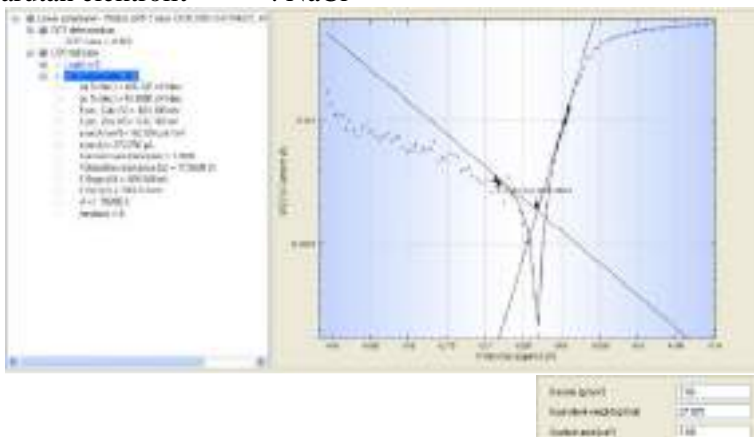
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 150rpm pH 5 tanpa  $\text{CH}_3\text{COOH}$

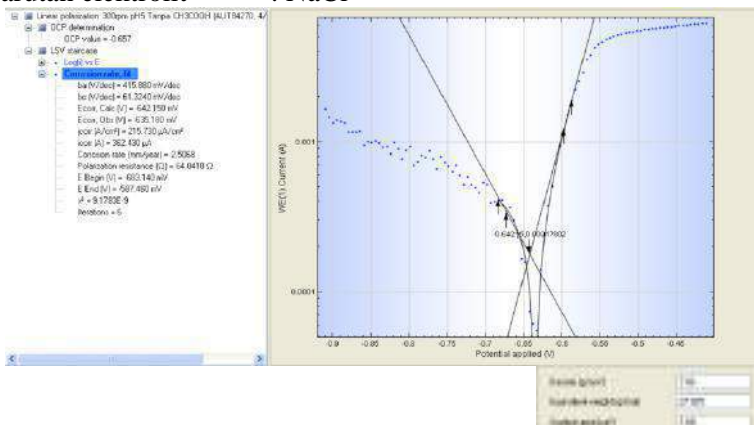
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 300rpm pH 5 tanpa  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Larutan elektrolit : NaCl

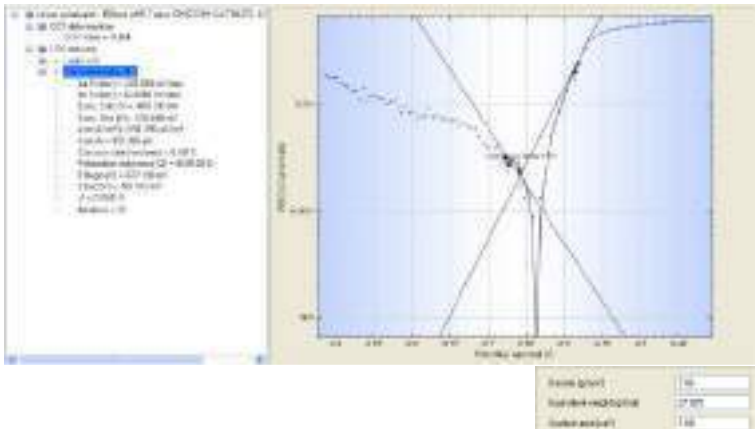




## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 450rpm pH 5 tanpa CH<sub>3</sub>COOH

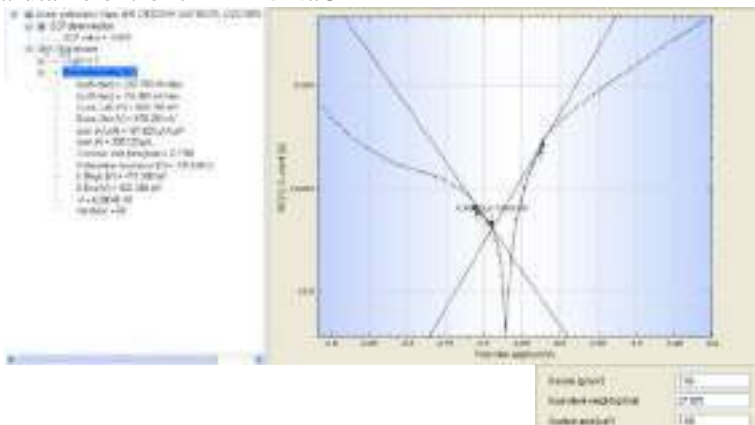
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 0rpm pH 6 CH<sub>3</sub>COOH

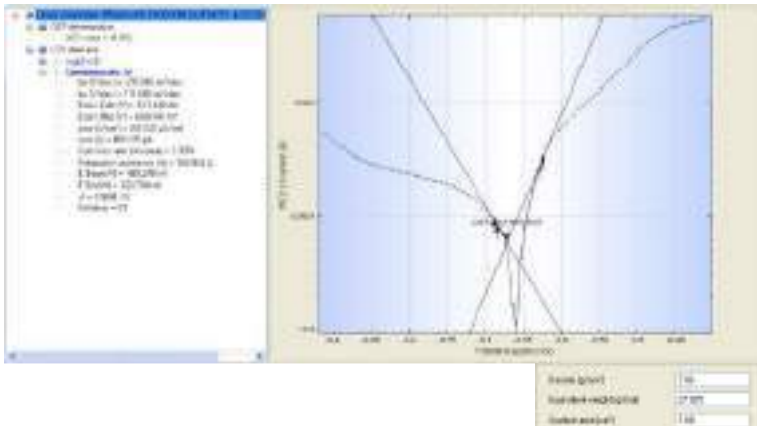
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 150rpm pH 6 CH<sub>3</sub>COOH

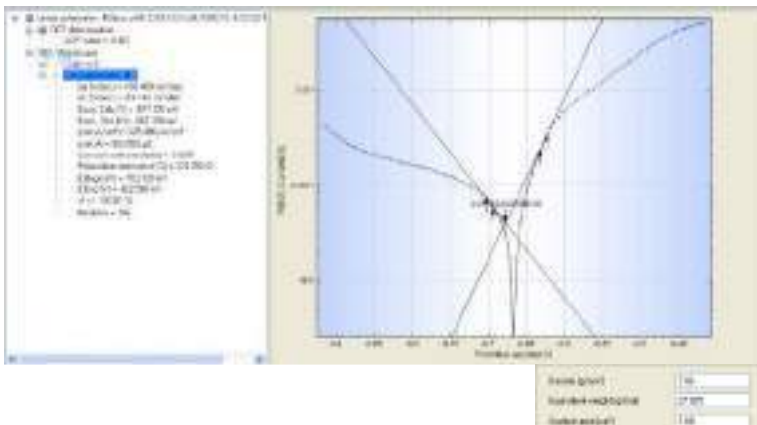
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 300rpm pH 6 CH<sub>3</sub>COOH

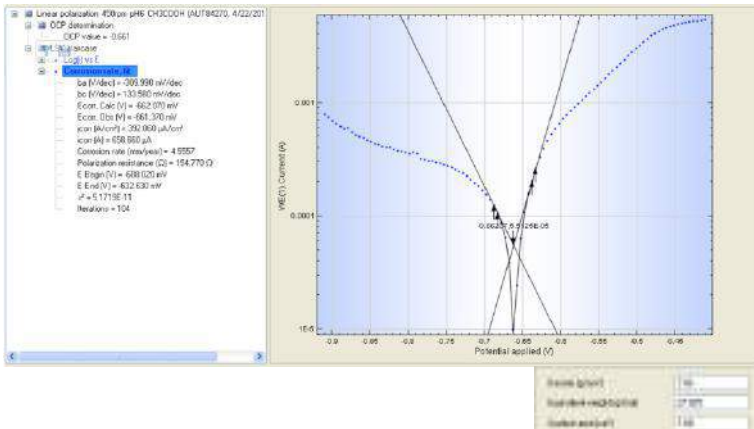
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 450rpm pH 6 CH<sub>3</sub>COOH

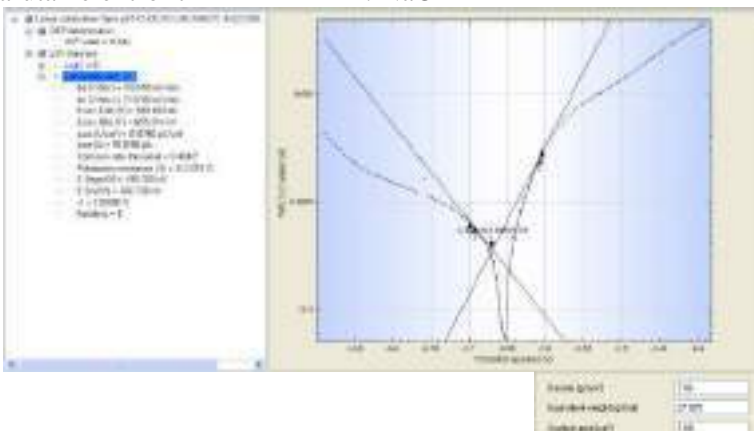
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 0rpm pH 5 CH<sub>3</sub>COOH

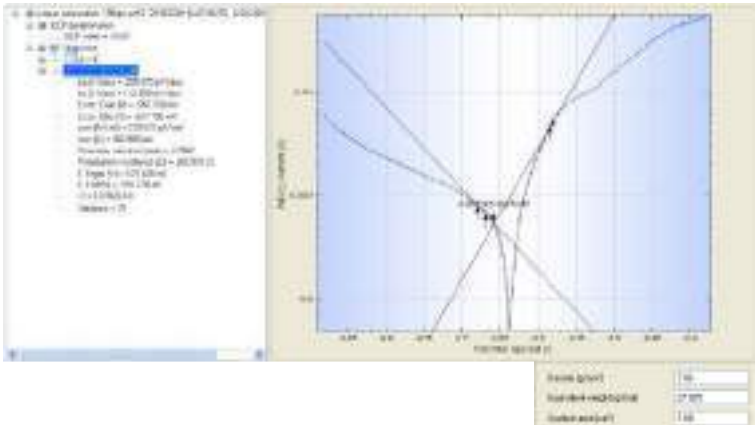
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 150rpm pH 5 CH<sub>3</sub>COOH

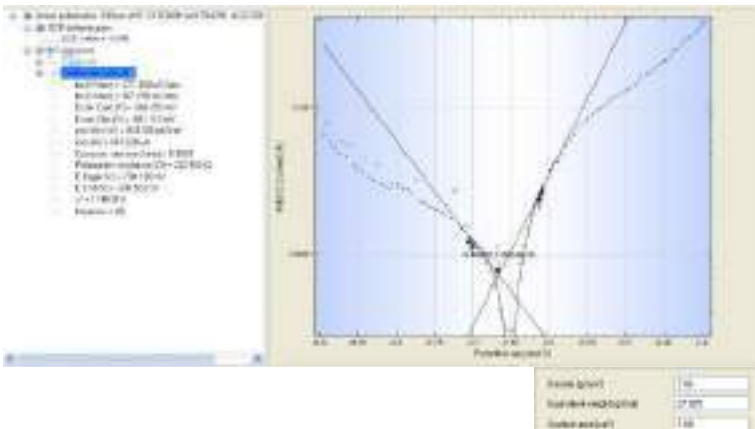
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 300rpm pH 5 CH<sub>3</sub>COOH

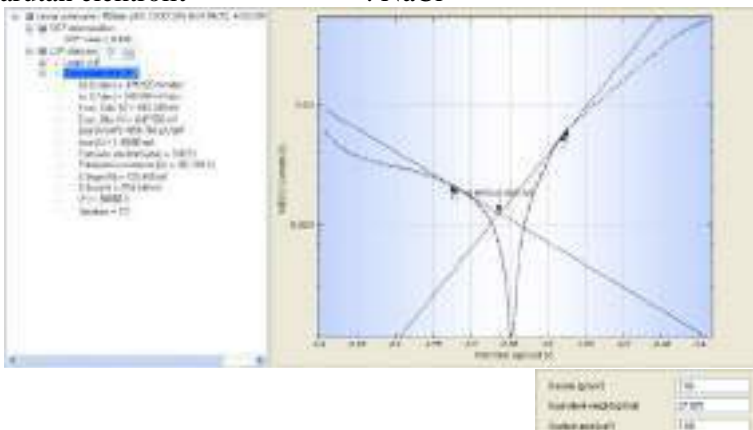
Larutan elektrolit : NaCl



## Hasil Analisa Polarisasi Linier – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N)

Nama Sample : 450rpm pH 5 CH<sub>3</sub>COOH

Larutan elektrolit : NaCl



## HASIL PENGUJIAN X-RAY DIFFRACTION (XRD)

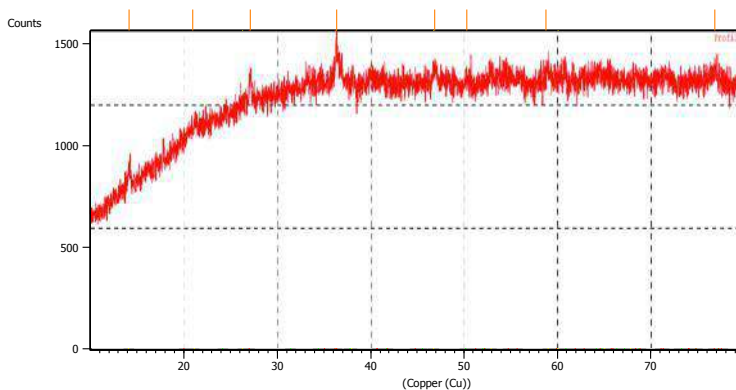
**Specimen : 0 RPM; 3,5%NaCl + 0 ppm CH<sub>3</sub>COOH; pH 5**

Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	0 ppm CH <sub>3</sub> COOH
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2016\Juni\Fardham\1605- 27\Sampel 2\Sampel 2.rd
Comment	File created with PowDLL. Nikos Kourkoum elis (nkourkou@cc.uoi.gr)
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	None
Start Position	10.0100
End Position	79.9900
Step Size	0.0200
Scan Step Time [s]	411.2000

Scan Type	Continuous
Offset	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	0.1000
Measurement Temperature [°C]	549.25
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 35 kV
Diffractometer Type	Undefined
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	240.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	Yes

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



Peak List: (**Bookmark 3**)

Post [°2θ]	Height [cts]	FWHM left [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1538	101.03	0.2362		58.82
20.9651	36.12	0.9446		21.03
27.1116	145.53	0.1968		84.72
36.3789	171.77	0.2362		100.00
46.9064	68.58	0.4723		39.93
50.3082	49.85	0.4723		29.02
58.7865	37.05	0.9446		21.57
76.8214	49.53	0.9446		28.84

Pattern List: (**Bookmark 4**)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-029-0696	1	Iron Carbonate	-0.576	0.000	Fe C O3
*	00-038-0032	6	Iron Hydroxide	-0.088	0.477	Fe ( O H )3
*	01-089-6096	6	Iron Oxide Hydroxide	0.006	0.335	Fe O ( O H )

Document History: (**Bookmark 5**)

Insert Measurement:

- File name = Sampel 2.rd
- Modification time = "6/21/2016 11:35:14 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/17/2016 8:56:41 AM"

- Modification editor = "Teknik Material"

Delete Peak(s):

- Start position = "17.7584"

- End position = "17.7584"

- Modification time = "6/21/2016 11:43:08 AM"

- Modification editor = "Teknik Material"

**Specimen : 0 RPM; 3,5%NaCl + 1500 ppm CH<sub>3</sub>COOH; pH 5**

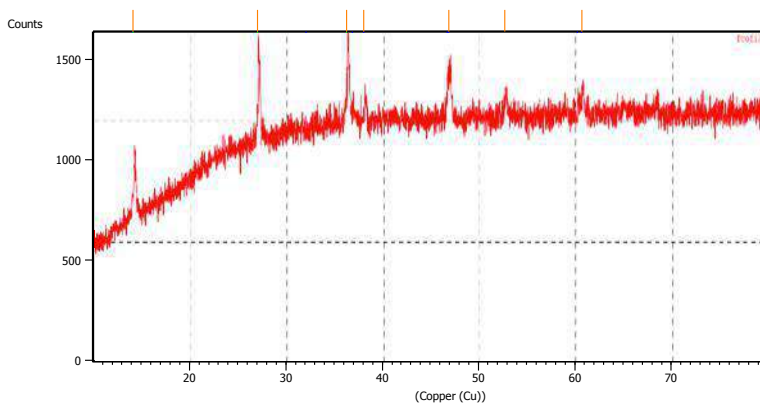
Measurement Conditions: (*Bookmark 1*)

Dataset Name	1500 ppm CH <sub>3</sub> COOH
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2016\Juni\Fardham\1605- 27\Sampel 1\Sampel 1.rd
Comment	File created with PowDLL. Nikos Kourkoum elis (nkourkou@cc.uoi.gr)
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	None
Start Position	10.0100
End Position	79.9900
Step Size	0.0200
Scan Step Time [s]	411.2000
Scan Type	Continuous
Offset	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [°]	1.0000
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	0.1000
Measurement Temperature [°C]	549.25
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225



K-A2 / K-A1 Ratio            0.50000  
 Generator Settings            30 mA, 35 kV  
 Diffractometer Type        Undefined  
 Diffractometer Number      1  
 Goniometer Radius [mm]    240.00  
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00  
 Incident Beam Monochromator No  
 Spinning                        Yes

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



Peak List: (**Bookmark 3**)

Post [°2θ]	Height [cts]	FWHM left [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
14.1674	332.82	0.1574		84.38
27.0535	394.45	0.0590		100.00
36.3171	387.59	0.1968		98.26
38.0914	147.94	0.2362		37.50
46.9637	242.15	0.1968		61.39
52.7461	114.39	0.2362		29.00

60.7286	144.23	0.1574	36.57
---------	--------	--------	-------

Pattern List: (**Bookmark 4**)

Visible	Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
*	00-044-1415	46	Iron Oxide Hydroxide	-0.005	0.932	Fe +3 O ( C H )
*	01-074-6247	52	Iron Oxide Hydroxide	0.026	0.908	Fe O ( O H )
	01-073-2326	49	Iron Oxide Hydroxide	-0.043	0.828	Fe O O H
	01-070-0714	56	Iron Hydroxide Oxide	0.022	0.987	Fe O O H
*	00-029-0696	1	Iron Carbonate	0.075	0.364	Fe C O3

Document History: (**Bookmark 5**)

Insert Measurement:

- File name = Sampel 1.rd
- Modification time = "6/21/2016 11:22:05 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Search Peaks:

- Minimum significance = "1"
- Minimum tip width = "0.02"
- Maximum tip width = "1"
- Peak base width = "2"
- Method = "Minimum 2nd derivative"
- Modification time = "6/17/2016 8:56:41 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

Search & Match:

- Allow pattern shift = "Yes"

- Auto residue = "Yes"
- Data source = "Profile and peak list"
- Demote unmatched strong = "Yes"
- Multi phase = "No"
- Restriction set = "Untitled"
- Restriction = "Restriction set"
- Subset name = ""
- Match intensity = "Yes"
- Two theta shift = "0"
- Identify = "Yes"
- Max. no. of accepted patterns = "10"
- Minimum score = "10"
- Min. new lines / total lines = "60"
- Search depth = "10"
- Minimum new lines = "5"
- Minimum scale factor = "0.1"
- Intensity threshold = "0"
- Use line clustering = "Yes"
- Line cluster range = "1.5"
- Search sensitivity = "1.8"
- Use adaptive smoothing = "Yes"
- Smoothing range = "1.5"
- Threshold factor = "3"
- Modification time = "6/21/2016 11:26:25 AM"
- Modification editor = "Teknik Material"

## **JCDF FeOOH**

### **Name and formula**

Reference code:	01-070-0714
Mineral name:	Lepidocrocite, syn
Compound name:	Iron Hydroxide Oxide
Common name:	ã-Fe O O H
Empirical formula:	FeHO <sub>2</sub>

Chemical formula: FeOOH

### **Crystallographic parameters**

Crystal system: Orthorhombic

Space group: Cmc21

Space group number: 36

a (Å): 3.0800

b (Å): 12.5000

c (Å): 3.8700

Alpha (°): 90.0000

Beta (°): 90.0000

Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 148.99

Z: 4.00

RIR: 3.34

### **Status, subfiles and quality**

Status: Alternate Pattern

Subfiles: ICSD Pattern

Inorganic

Mineral

Quality: Blank (B)

### **Comments**

ANX: AX2

Creation Date: 11/20/2008

Modification Date: 1/19/2011

ANX: AX2  
Analysis: H1 Fe1 O2  
Formula from original source: Fe O (O H)  
ICSD Collection Code: 1545  
Minor Warning: Magnitude of e.s.d. on cell dimension is >1000 ppm  
Significant Warning: 12%<R factor (for single crystal)  
Wyckoff Sequence: a3(CMC21)  
Unit Cell Data Source: Single Crystal.

### References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)  
Structure: Christensen, H., Christensen, A.N., Acta Chem. Scand., Ser. A, **32**, 87, (1978)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	2	0	6.25000	14.159	100.0
2	0	2	1	3.29030	27.073	72.5
3	0	4	0	3.12500	28.541	1.4
4	1	1	0	2.99060	29.852	5.7
5	1	3	0	2.47680	36.240	62.3
6	0	4	1	2.43130	36.942	7.0
7	1	1	1	2.36640	37.994	17.2
8	0	6	0	2.08330	43.400	6.7
9	1	3	1	2.08330	43.400	6.7
10	1	5	0	1.94110	46.761	26.0
11	0	0	2	1.93500	46.917	20.9
12	0	2	2	1.84840	49.258	6.5
13	0	6	1	1.83440	49.659	0.8

14	1	5	1	1.73500	52.716	17.8
15	0	4	2	1.64520	55.836	0.5
16	1	1	2	1.62460	56.608	1.2
17	0	8	0	1.56250	59.075	5.5
18	2	0	0	1.54000	60.026	7.7
19	1	3	2	1.52480	60.687	19.2
20	2	2	0	1.49530	62.015	2.5
21	0	8	1	1.44890	64.233	1.7
22	1	7	1	1.43480	64.942	8.0
23	0	6	2	1.41780	65.818	2.5
24	2	2	1	1.39480	67.045	6.3
25	2	4	0	1.38140	67.783	0.2
26	1	5	2	1.37040	68.402	10.0
27	2	4	1	1.30100	72.610	1.7
28	1	9	0	1.26610	74.948	0.9
29	0	2	3	1.26340	75.136	2.0
30	0	10	0	1.25000	76.084	0.1
31	2	6	0	1.23840	76.926	1.4
32	0	8	2	1.21560	78.644	3.4
33	2	0	2	1.20500	79.472	4.6
34	0	4	3	1.19240	80.483	0.8
35	0	10	1	1.18950	80.719	3.5
36	1	1	3	1.18450	81.131	1.7
37	2	2	2	1.18320	81.239	1.9
38	2	6	1	1.17950	81.547	0.3
39	1	3	3	1.14410	84.642	0.3
40	2	4	2	1.12430	86.493	0.2
41	0	6	3	1.09680	89.226	2.1
42	2	8	0	1.09680	89.226	2.1
43	1	5	3	1.07440	91.608	2.0
44	1	11	0	1.06610	92.529	1.0
45	1	9	2	1.05950	93.278	0.8
46	2	8	1	1.05520	93.773	0.8
47	0	10	2	1.05000	94.381	0.1
48	2	6	2	1.04310	95.203	1.3

49	0	12	0	1.04170	95.372	0.3
50	1	11	1	1.02780	97.088	0.2
51	3	1	0	1.02320	97.673	0.1
52	0	12	1	1.00590	99.953	0.2
53	3	3	0	0.99690	101.193	1.4
54	0	8	3	0.99480	101.488	0.3
55	1	7	3	0.99020	102.142	1.6
56	3	1	1	0.98920	102.285	0.9
57	2	2	3	0.97670	104.124	1.3
58	2	10	0	0.97050	105.068	0.1
59	0	0	4	0.96750	105.533	0.9
60	3	3	1	0.96530	105.877	0.1
61	0	2	4	0.95610	107.350	0.4
62	2	8	2	0.95420	107.661	2.4
63	3	5	0	0.94970	108.407	1.0
64	2	4	3	0.94280	109.578	0.7
65	2	10	1	0.94140	109.820	2.6
66	1	11	2	0.93380	111.159	1.2
67	0	4	4	0.92420	112.915	0.1
68	3	5	1	0.92230	113.272	1.1
69	1	1	4	0.92050	113.613	0.2
70	1	13	0	0.91790	114.111	0.4
71	0	12	2	0.91720	114.246	0.4
72	3	1	2	0.90450	116.779	0.2
73	1	9	3	0.90360	116.965	0.1
74	1	3	4	0.90120	117.464	2.0
75	0	10	3	0.89770	118.204	1.2
76	1	13	1	0.89310	119.197	2.2
77	0	14	0	0.89310	119.197	2.2
78	3	7	0	0.89000	119.881	0.1
79	3	3	2	0.88620	120.736	1.9
80	0	6	4	0.87750	122.765	0.4
81	0	14	1	0.87000	124.602	0.1
82	3	7	1	0.86740	125.260	1.2
83	2	10	2	0.86740	125.260	1.2

84	1	5	4	0.86590	125.645	1.6
85	2	12	0	0.86280	126.452	0.3
86	3	5	2	0.85260	129.236	1.5
87	2	12	1	0.84210	132.337	0.3
88	2	8	3	0.83560	134.397	0.4
89	1	13	2	0.82930	136.514	0.5
90	3	9	0	0.82560	137.821	0.2
91	0	8	4	0.82260	138.918	0.9
92	1	11	3	0.82180	139.217	0.2
93	2	0	4	0.81920	140.207	1.2
94	2	2	4	0.81230	142.990	0.5
95	0	14	2	0.81070	143.671	0.3
96	0	12	3	0.81070	143.671	0.3
97	3	7	2	0.80860	144.590	0.1
98	3	9	1	0.80740	145.127	0.1
99	1	15	0	0.80440	146.515	0.2
100	3	1	3	0.80170	147.822	0.4

### JCDF Fe(OH)<sub>3</sub>

#### Name and formula

Reference code:	00-038-0032
Compound name:	Iron Hydroxide
Empirical formula:	FeH <sub>3</sub> O <sub>3</sub>
Chemical formula:	Fe ( OH ) <sub>3</sub>

#### Crystallographic parameters

Crystal system:	Unknown
RIR:	-

#### Subfiles and quality



Subfiles: Inorganic  
Quality: Low precision (O)

### Comments

Creation Date: 11/30/1984  
Modification Date: 1/11/2011  
Reason O Quality Was Assigned: O assigned because of lack of indexing.

### References

Primary reference: Au-Yeung, S. et al., Inorg. Chem., **23**, 1513, (1984)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1				6.23700	14.189	100.0
2				4.18300	21.223	15.0
3				3.37600	26.379	64.0
4				2.46800	36.373	88.0
5				2.36300	38.050	11.0
6				1.93700	46.966	42.0
7				1.72600	53.012	18.0
8				1.56100	59.137	10.0
9				1.53600	60.198	32.0
10				1.43100	65.135	12.0
11				1.37900	67.917	13.0
12				1.20600	79.393	9.0
13				1.18700	80.925	10.0

## JCDF FeCO<sub>3</sub>

### Name and formula

Reference code:	00-029-0696
Mineral name:	Siderite
Compound name:	Iron Carbonate
Empirical formula:	CFeO <sub>3</sub>
Chemical formula:	FeCO <sub>3</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system:	Rhombohedral
Space group:	R-3c
Space group number:	167

a (Å):	4.6935
b (Å):	4.6935
c (Å):	15.3860
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000

Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	3.93
Measured density (g/cm <sup>3</sup> ):	3.89
Volume of cell (10 <sup>6</sup> pm <sup>3</sup> ):	293.53
Z:	6.00

RIR: -

### Subfiles and quality

Subfiles:	Common Phase Educational pattern Forensic Inorganic
-----------	--

Quality: Mineral  
NBS pattern  
Star (S)

## Comments

Color: Light yellowish brown  
Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/11/2011  
Additional Patterns: To replace 00-008-0133  
Analysis: Spectrographic analysis indicates  
1-2% Mn  
Color: Light yellowish brown  
Optical Data Specimen location: Optical data on specimen from  
Camborne  
Sample Source or Locality: Specimen from Ivigtut, Greenland  
(NMNH 132849)  
Temperature of Data Collection: Pattern taken at 298 K  
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

## References

Primary reference: Natl. Bur. Stand. (U. S.)  
Monogr. 25, **15**, 32, (1978)  
Optical data: Dana's System of Mineralogy, 7th  
Ed., **II**, 167

## Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.59300	24.759	25.0
2	1	0	4	2.79500	31.995	100.0
3	0	0	6	2.56400	34.967	1.0
4	1	1	0	2.34600	38.337	20.0
5	1	1	3	2.13400	42.319	20.0
6	2	0	2	1.96500	46.159	20.0
7	0	2	4	1.79680	50.291	12.0
8	0	1	8	1.73820	52.727	30.0

9	1	1	6	1.73150	52.831	35.0
10	2	1	1	1.52910	60.498	3.0
11	1	2	2	1.50630	61.512	14.0
12	1	0	10	1.43900	64.729	3.0
13	2	1	4	1.42660	65.361	11.0
14	2	0	8	1.39690	66.931	6.0
15	1	1	9	1.38180	67.761	3.0
16	3	0	0	1.35480	69.301	11.0
17	0	0	12	1.28230	73.843	5.0
18	2	1	7	1.25930	75.423	1.0
19	0	2	10	1.22690	77.782	3.0
20	1	2	8	1.20020	79.854	5.0
21	3	0	6	1.19770	80.054	4.0
22	2	2	0	1.17370	82.037	2.0
23	1	1	12	1.12540	86.388	4.0
24	3	1	2	1.11540	87.356	1.0
25	2	1	10	1.08720	90.229	3.0
26	1	3	4	1.08200	90.783	5.0
27	2	2	6	1.06710	92.417	4.0
28	4	0	4	0.98250	103.260	5.0
29	3	1	8	0.97240	104.776	5.0
30	2	0	14	0.96660	105.673	2.0
31	1	0	16	0.93580	110.802	2.0
32	3	2	1	0.93090	111.681	6.0
33	2	3	2	0.92560	112.654	3.0

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Naiknya kecepatan putaran dan turunnya pH berpengaruh pada naiknya *corrosion rate* Baja ASME SA516 grade 70 di lingkungan yang mengandung gas  $\text{CO}_2$ . Hal ini dikarenakan kecepatan putar mempercepat proses difusi antara sample dan elektrolit. Sedangkan lingkungan asam memiliki konsentrasi  $\text{H}^+$  lebih besar yang berdampak pada banyaknya ion yang bereaksi.
2. Kandungan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  mengakibatkan naiknya *corrosion rate* pada Baja ASME SA516 grade 70 di lingkungan yang mengandung gas  $\text{CO}_2$ . Hal ini disebabkan karena  $\text{CH}_3\text{COOH}$  berkompetisi dengan  $\text{CO}_2$  untuk mendapatkan ion  $\text{Fe}^{2+}$ . Hasil reaksi  $\text{CH}_3\text{COOH}$  dengan Fe berupa  $\text{CH}_3\text{COOFe}$  diduga tidak menempel pada permukaan sample melainkan larut pada elektrolit sehingga permukaan baja masih terbuka untuk reaksi korosi berikutnya.
3. Nilai laju korosi pada larutan elektrolit yang mengandung 0 ppm dan 1500 ppm  $\text{CH}_3\text{COOH}$  menunjukkan tren yang turun terhadap fungsi waktu.
4. Produk korosi yang dihasilkan adalah senyawa  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{FeOOH}$ .

#### **V.2 Saran**

Adapun saran untuk penelitian yang telah dilakukan kali ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya variasi pH yang lebih rendah dan jauh rentangnya pada penelitian selanjutnya guna menambahkan referensi tentang *CO<sub>2</sub> Corrosion* dengan



menggunakan metode *Weigth Loss* pada sistem *Rotating Cylinder Electrode* (RCE).

2. Perlu adanya percobaan yang menggunakan kecepatan putar yang lebih besar guna mendekati kondisi pada *flowline Oil and Gas Industry*.

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 2003. ASM Handbook Volume 13A, Corrosion : Fundamentals, Testing, and Protection. USA : ASM International.
- \_\_\_\_\_. 2003. API Practice 571, Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. USA: American Petroleum Institute.
- \_\_\_\_\_. 2005. ASM Handbook Volume 13B, Corrosion : Materials. USA : ASM International,
- \_\_\_\_\_. 2004. ASTM Internasional. ASTM G31-72 : Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. United State
- Aziz, Nur Octoviawan, (2011). “ Studi Pengaruh Laju Alir Fluida Terhadap Laju Korosi Baja API 5L X-52 Menggunakan Metode Polarisation Pada Lingkungan NaCl 3.5% yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub>”, Depok: Universitas Indonesia
- Castaneda, H. (2004). “ Film Stability for API 5L X- 52 Line Pipe Steel in CO<sub>2</sub> (aq) and Cl<sup>-</sup> (aq) Solutions in Presence of Amine Based Inhibitor Under Hydrodynamic Conditions” . Mexico
- Callister, W.D., 2000, “Materials Science and Engineering An Introduction, fifth. Edition, John Wiley & Sons, Inc.”, New York, USA
- Callister, W.D., (2003). *Materials Science and Engineering, An Introduction*, 6th ed., John Wiley & Son, Inc.
- Ellingham, H. J. T. (1944), "Transactions and Communications", London : J. Soc. Chem. Ind.
- Fontana. Mars. G. (1986). *Corrosion Engineering, 3rd Edition*. Houston : McGraw-Hill.
- Gonzalez, J.G., dkk. (2011). “ Hydrodynamic Effects on the CO<sub>2</sub> Corrosion Inhibition of X-120 Pipeline Steel by Carboxyethyl-Imidazoline” , Journal.
- Hermantoro, Edy. (2012) . “Round Tabel Discussion tentang Renegosiasi Harga Jual Gas Bumi dan



- Permasalahannya*”, Convergence
- Johnsen, Prof. Roy, (2004), “Corrosion of Carbon Steel in Hydrocarbon Environments” . Inst. For Produktutvikling og Materialer, Journal
- Jones. Denny A, (1996) *Principles and Prevention of Corrosion 2nd Edition Handbook*, Maxwell Macmillan: Singapura.
- Mario, Marcelleus, “ Studi Penambahan beras ketan hitam sebagai Inhibitor Organik dengan konsentrasi 500 GPL pada baja SPCC pada lingkungan Air Tanah” Skripsi, Universitas Indonesia. Depok. 2010.
- McCafferty, E., (2009), “ *Introduction to Corrosion Science.*”, USA : Springer
- NACE International. (2005). *NACE Standard RP0775-2005 Item No. 21017 Standard Recommended Practice Preparation, Installation, Analysis, And Interpretation Corrosion Coupons In Oilfield Operations*. Texas:
- Nazari, Mehdi Honarvar, dkk. (2010). The effects of temperature and pH on the characteristics of corrosion product in CO<sub>2</sub> corrosion of grade X70 steel. *Materials and Design*.
- Nesic, S., dkk. (2003). A Mechanistic Model for Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Protective Iron Carbonate Films—Part 1: Theory and Verification. NACE International.
- Nesic, S., dkk. (2003). A Mechanistic Model for Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Protective Iron Carbonate Films—Part 2: A Numerical Experiment. NACE International.
- Nesic, S., dkk. (2007). Investigation of Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Acetic Acid— Part 1: Basic Mechanisms. NACE International.
- Nurhamzah, Tezar Prima. (2011). “Studi Laju Korosi pada Sampel Pipa Baja API 5L X-52 dengan Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran dan Gas CO<sub>2</sub> pada pH 6 dalam Larutan NaCl 3,5%”, Depok: Universitas

- Indonesia.
- Pandyo, Nitiyoga A. (2011). "Studi Pengaruh pH Lingkungan Terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L X-52 Sebagai Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub> Pada Larutan NaCl 3,5% Dengan Variasi Laju Aliran". Depok: Universitas Indonesia.
- Perez, Nestor. (2004), "Electrochemistry And Corrosion Science". Texas
- Permadi, Muhammad Ali, dkk. (2011). "Pengaruh Konsentrasi Asam Asetat terhadap Temperatur Krisis Pembentukan Film FeCO<sub>3</sub> pada Korosi CO<sub>2</sub>". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rustandi, Andi ; Iandiano, Dito. (2011). " Studi Laju Korosi Baja Karbon Untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub> pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 %" , Depok: Universitas Indonesia.
- PINE Research Instrumentation. (2007). "Study of Mass-Transport Limited Corrosion Using Pine Rotating Cylinder Electrodes" .
- Santoso, Rendy Wahyu. (2011). "Pengaruh Konsentrasi CH<sub>3</sub>COOH terhadap karakterisasi korosi baja BS 970 di lingkungan CO<sub>2</sub>", Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Santoso, Rendy W. (2011). "Pengaruh Konsentrasi CH<sub>3</sub>COOH Terhadap Karakteristik Korosi Baja Bs 970 Di Lingkungan CO<sub>2</sub>". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Wahyuadi, Johny; Husein, Syarif, " Studi Pengaruh Laju Alir Fluida terhadap Laju Korosi Material UNS G10180 pada Lingkungan NaCl 3.5% Menggunakan Alat Uji Rotating Cylinder Electrode dengan Metode Polarisasi" Skripsi, Universitas Indonesia, Depok. 2010.
- Yang, Tao, dkk. (2014). Controlled synthesis of porous FeCO<sub>3</sub>

microspheres and the conversion to  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  with unconventional morphology. Beijing : School of Materials Science and Thecnology, China University of Geosciences.

## BIODATA PENULIS



**Faris Adham** adalah nama penulis dari skripsi ini. Penulis lahir dari pasangan Purwanto Sasongko dan Hari Mulyati sebagai anak kedua dari empat bersaudara. Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 18 Juni 1994. Memiliki satu kakak perempuan bernama Shintia Martapuri, dan dan satu adik perempuan dan laki-laki, masing-masing bernama Anissa Rahmapuri dan Muhammad Farhan. Penulis menempuh pendidikan formalnya dimulai dari SDN Griya Wartawan 05 PG Jakarta Timur, lalu penulis melanjutkan studinya di SMP Negeri 109 Jakarta dan berhasil melanjutkan ke SMA Negeri 81 Jakarta selama 6 bulan lalu pindah ke SMA Negeri 8 Jakarta dan mengenyam pendidikan disana selama 2,5 tahun hingga berhasil menanggalkan status siswanya hingga pada akhirnya bisa menempuh masa kuliah di program studi S1 Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dimulai pada 2012 hingga 2016.

Penulis memiliki minat yang cukup kuat pada sektor *Oil and Gas Industry* dan Manufaktur. Skripsi yang diangkat oleh penulis adalah salah satu kasus yang ada pada *Oil and Gas Industry* yang pernah didapatkan penulis pada saat menjalani *On Job Trainee Program*. Penulis memiliki pengalaman selama 2 bulan mengikuti *On Job Trainee Program* yang diselenggarakan oleh PT Total E&P Indonesia Balikpapan dan sempat ditugaskan pada *Central Production Area (CPA)*, kawasan *Mahakam Middle Asset (MMA) Area* dan *North Processing Unit (NPU)*, kawasan *Mahakam North Asset (MNA) Area*. Pada OJT Program, penulis mendapatkan *project* untuk membuat *Inspection Execution Plan* untuk dua *equipment* yang berbeda pada setiap site. Pada *project* tersebut didapatkan cukup banyak *damage* dan *finding* terkait *CO<sub>2</sub> Corrosion*. Darisanalah yang menginspirasi penulis untuk mengadakan penelitian Tugas Akhir tentang *CO<sub>2</sub> Corrosion*.