



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN RASIO VOLUME INHIBITOR CAMPURAN BERBASIS *IMIDAZOLINE* DAN PARASETAMOL TERHADAP PERLINDUNGAN KOROSI BAJA ST 41 DI LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO<sub>2</sub> DENGAN MENGGUNAKAN METODE *ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

Jodie Steven  
NRP. 0251144000011

Dosen Pembimbing  
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T. M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





**TUGAS AKHIR – TL 141584**

**PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN RASIO VOLUME INHIBITOR CAMPURAN BERBASIS IMIDAZOLINE DAN PARASETAMOL TERHADAP PERLINDUNGAN KOROSI BAJA ST 41 DI LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO<sub>2</sub> DENGAN MENGGUNAKAN METODE *ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

Jodie Steven  
NRP. 0251144000011

Dosen Pembimbing  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Insitut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL141584**

**EFFECT OF pH, ROTATION SPEED AND MIXED INHIBITOR VOLUME RATIO (IMIDAZOLINE AND PARACETAMOL BASED) ON CORROSION PROTECTION OF ST 41 STEEL IN CO<sub>2</sub> ENVIRONMENT USING ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)**

Jodie Steven  
NRP. 0251144000011

Advisors  
Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

*(This page is left intentionally blank)*

**PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN RASIO  
VOLUME INHIBITOR CAMPURAN BERBASIS  
IMIDAZOLINE DAN PARASETAMOL TERHADAP  
PERLINDUNGAN KOROSI BAJA ST 41 DI  
LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO<sub>2</sub>  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *ROTATING  
CYLINDER ELECTRODE (RCE)***

**TUGAS AKHIR**

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

Pada

Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Jodie Steven**

**NRP. 0251144000011**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. ....(Pembimbing 1)
2. Haniffudin Nudiansah, S.T., M.T. ....(Pembimbing 2)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN RASIO  
VOLUME INHIBITOR CAMPURAN BERBASIS  
IMIDAZOLINE DAN PARASETAMOL TERHADAP  
PERLINDUNGAN KOROSI BAJA ST 41 DI  
LINGKUNGAN YANG MENGANDUNG GAS CO<sub>2</sub>  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *ROTATING  
CYLINDER ELECTRODE* (RCE)**

**Nama Mahasiswa** : Jodie Steven  
**NRP** : 0251144000011  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

**Abstrak**

Eksperimen terhadap korosi CO<sub>2</sub> dengan menggunakan *Rotating Cylinder Electrode* (RCE) telah dilaksanakan, pada penelitian ini digunakan baja karbon ST 41 berbentuk silinder sebagai spesimen uji dengan parameter pH 4 dan pH 6, dengan kecepatan putar 150 RPM dan 250 RPM, rasio volume inhibitor campuran berbasis *imidazoline* dan parasetamol yang digunakan adalah 1 (*imidazoline*) : 2 (parasetamol), 1 : 1, serta 2 : 1 pada larutan NaCl 3,5% dengan injeksi gas CO<sub>2</sub>. Dilakukan pengujian *weight loss*, perhitungan adsorpsi isotherm, polarisasi linear (tafel), *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), FTIR, dan XRD. Dari hasil pengujian *weight loss* didapatkan nilai efisiensi inhibitor tertinggi adalah pada pH 6, 150 RPM, rasio volume inhibitor campuran 2 : 1 sebesar 61,412 %. Menurut perhitungan adsorpsi isotherm inhibitor campuran teradsorpsi dengan cara *physisorption*. Dari pengujian polarisasi linear (Tafel) kurva tafel bergeser ke kanan bawah yang menunjukkan penurunan nilai  $i_{corr}$  dan reaksi yang terjadi menjadi lebih anodik, serta reaksi pada sampel uji lebih dominan sehingga inhibitor bersifat anodik yang berinteraksi melalui adsorpsi pada permukaan logam. Pengujian FTIR didapatkan gugus fungsi N-H, C=C yang identik dari inhibitor campuran menempel pada permukaan logam setelah proses

*running* selama sepuluh hari. Hasil pengujian EIS menunjukkan dengan adanya penambahan inhibitor, terjadi peningkatan nilai tahanan polarisasi dan penurunan nilai CPE (*constant phase element*). Dari pengujian XRD ditunjukkan adanya senyawa produk korosi CO<sub>2</sub> berupa FeCO<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berasal dari kontaminasi oksigen di udara untuk rasio volume inhibitor 1 : 2, sedangkan sampel uji dengan rasio volume 2 : 1 terdapat senyawa *iron nitride* Fe<sub>24</sub>N<sub>10</sub> yang terbentuk karena reaksi *chemisorption* antara Fe dan atom nitrogen dari *pyridine* yang terdapat pada inhibitor *imidazoline*. Mekanisme inhibisi dari inhibitor campuran *imidazoline* dan parasetamol adalah secara campuran, baik dari *imidazoline* adalah secara *chemisorption* dan parasetamol adalah *physisorption*.

**Kata Kunci : Korosi CO<sub>2</sub>, pH, Kecepatan Putar, Rasio Volume, Inhibitor *Imidazoline*, Inhibitor Parasetamol.**

**EFFECT OF pH, ROTATION SPEED AND MIXED  
INHIBITOR VOLUME RATIO (IMIDAZOLINE AND  
PARACETAMOL BASED) ON CORROSION  
PROTECTION OF ST 41 STEEL IN CO<sub>2</sub> ENVIRONMENT  
USING ROTATING CYLINDER ELECTRODE (RCE)**

**Student name** : Jodie Steven  
**Student ID (NRP)** : 0251144000011  
**Department** : Materials and Metallurgical  
Engineering  
**Advisors** : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.

**Abstract**

CO<sub>2</sub> corrosion experiment using rotating cylinder electrode (RCE) has been conducted, on this research, cylindrical shape ST 41 carbon steel was used as the sample. With the parameter of Ph 4 and Ph 6, 150 RPM and 250 RPM rotation speed, with mixed inhibitor volume ratio of 1 (imidazoline) : 2 (paracetamol), 1 : 1, also 2 : 1 at the Sodium Chloride solution (NaCl) 3.5 % injected with the CO<sub>2</sub> gas. The Weight loss measurement, isotherm adsorption calculation, linear polarization (tafel), *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), FTIR, and XRD measurement has also been done. From the weight loss measurement result, the highest inhibitor efficiency was 61.412 % at the 6 Ph, 150 RPM, with the mixed inhibitor volume ratio of 2 : 1, adsorption isotherm calculation indicate the adsorption mechanism of the mixed inhibitor is physical adsorption. Linear polarization result suggest the tafel curve move to down and right which mean in reduced  $i_{corr}$  values, and anodic reaction of the system that yield in anodic type inhibitor reaction which interact with the metal surface with adsorption. the FTIR spectrum result found the functional group N-H from the inhibitor was attached on the metal surface after ten days of running process, on the EIS result on increase value of polarization resistance value and decrease on CPE (constant phase element) value. on the other hand, the X – ray diffraction (XRD)

result from the volume ration of 1 : 2 confirm the CO<sub>2</sub> corrosion product FeCO<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was formed from oxygen contamination of air, and from the volume ratio of 2 : 1 mixed inhibitor confirmed that iron nitride (Fe<sub>24</sub>N<sub>10</sub>) compound was formed because of the chemisorption reaction between Fe and nitrogen atom from pyridine at the imidazoline inhibitor. The mixed inhibitor mechanism of inhibition is mixed type, either from imidazoline based type is chemisorption type, and paracetamol based is physisorption

**Key words : CO<sub>2</sub> Corrosion, pH, Rotation Speed, Volume Ratio, Imidazoline inhibitor, Paracetamol inhibitor.**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada tuhan yang maha esa atas berkat dan kasihnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh pH, Kecepatan Putar, dan Rasio Volume Inhibitor Campuran Berbasis Imidazoline dan Parasetamol Terhadap Perlindungan Korosi Baja ST 41 di Lingkungan yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub> dengan Menggunakan Metode Rotating Cylinder Electrode (RCE)”**.

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Selama melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih pada :

1. Tuhan yang selalu memberkati dan memberikan kasih karunianya.
2. Kedua orang tua tercinta atas dukungan moriil dan materiil yang luar biasa.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc. , selaku dosen pembimbing 1 yang selalu memberikan arahan, bimbingan dan ilmu kepada penulis.
4. Bapak Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T. , selaku dosen pembimbing 2 yang selalu sabar dan memberikan petunjuk pada penulis.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. , selaku ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
6. Tim Antasena ITS, yang selalu memberikan bantuan dengan meminjamkan perkakas dan peralatan yang dibutuhkan penulis.
7. Saudara Arif Fajar Himawan sebagai rekan kerja penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Saudara Doddy Rahyudha sebagai rekan kerja penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

9. Saudara Nafi'ul Fikri Ahmadi sebagai senior yang selalu sabar dalam menjawab pertanyaan penulis.
10. Saudara Dendra Ravelia sebagai senior yang mau memberi petunjuk pada penulis.
11. Mas Davik yang membantu penulis dalam memecahkan masalah mengenai rangkaian kelistrikan.
12. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir serta perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI - ITS.
13. Keluarga HMMT dan MT 16 Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS
14. Seluruh pihak yang telah memberi dukungan dan motivasi yang tiakbisa disebutkan satu per satu oleh penulis.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan. Penulis berharap pembaca dapat mengambil ilmu yang ada dan memberikan kritik dan saran untuk perkembangan teknologi yang lebih baik.

## DAFTAR ISI

Abstrak.....	iii
Abstract.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	1
I.3 Batasan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Baja Karbon ST 41.....	4
2.2 Definisi Korosi.....	4
2.3 Klasifikasi Korosi.....	6
2.4 Laju Korosi ( <i>Corrosion Rate</i> ).....	7
2.4.1 Metode Kehilangan Berat ( <i>Weight Loss</i> ).....	8
2.4.2 Metode Polarisasi.....	8
2.4.3 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).....	10
2.5 Pengaruh Konsentrasi NaCl Terhadap Laju Korosi.....	13
2.6 Korosi yang Disebabkan Oleh Gas CO <sub>2</sub> .....	14
2.7 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Korosi CO <sub>2</sub> .....	16
2.8 Perlindungan dari Korosi.....	19
2.9 Inhibitor Korosi.....	19
2.9.1 Interface Inhibitors.....	20
2.9.2 Enviromental Conditioners.....	25
2.10 Inhibitor Komersial Berbasis Imidazoline.....	26
2.11 Stabilitas <i>Imidazoline Film</i> .....	33
2.12 Inhibitor Obat Parasetamol.....	34
2.13 Penelitian Sebelumnya.....	38
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	45
3.1 Diagram Alir.....	45
3.2 Metode Perancangan.....	46

3.3	Alat dan Bahan Percobaan.....	47
3.3.1	Alat Percobaan.....	47
3.3.2	Bahan Percobaan .....	47
3.4	Prosedur Penelitian.....	48
3.4.1	Preparasi Spesimen Uji.....	48
3.4.2	Preparasi Alat .....	50
3.4.3	Larutan NaCl 3.5 % .....	54
3.4.4	Penambahan Inhibitor Korosi Campuran Imidazoline dan Parasetamol.....	55
3.5	Pengujian Pada Percobaan.....	56
3.5.1	Metode Weight Loss.....	56
3.5.2	Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy.....	58
3.5.3	Pengujian Polarisasi (Tafel).....	59
3.5.4	Pengujian <i>Fourier Transformation Infrared</i> (FTIR).....	62
3.5.5	Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	62
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>64</b>
4.1	Analisis Data .....	64
4.1.1	Perhitungan Bilangan Reynold dan <i>Wall Shear Stress</i> .....	64
4.1.2	Pengujian Pengurangan Berat ( <i>Weight Loss</i> ).....	65
4.1.3	Perhitungan Adsorpsi Isoterm.....	70
4.1.4	Pengujian Polarisasi Linear (Tafel).....	72
4.1.5	Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).....	76
4.1.6	Pengujian FTIR.....	81
4.1.7	Pengujian <i>X – Ray Diffraction</i> (XRD) .....	86
4.1.8	Pengamatan Visual .....	89
4.2	Pembahasan.....	90
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>96</b>
5.1	Kesimpulan .....	96
5.2	Saran .....	96
DAFTAR PUSTAKA .....		xvii
LAMPIRAN .....		xxiii
BIOGRAFI PENULIS.....		xxxv

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Siklus yang terjadi pada logam.....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Skema visualisasi polarisasi.....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Contoh grafik Polarisasi.....	10
<b>Gambar 2. 4</b> Perubahan kurva sinusoidal.....	11
<b>Gambar 2. 5</b> Plot Nyquist dengan Vektor Impedansi.....	12
<b>Gambar 2. 6</b> Rangkaian listrik sederhana dengan satu model waktu konstan.....	12
<b>Gambar 2. 7</b> Aliran Nyquist. (a) untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan oleh hambatan perpindahan muatan listrik (b) untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan proses difusi Pengaruh Konsentrasi NaCl Terhadap Laju Korosi.....	13
<b>Gambar 2. 8</b> Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi.....	14
<b>Gambar 2. 9</b> Pengaruh pH terhadap Laju Korosi.....	16
<b>Gambar 2. 10</b> Klasifikasi Inhibitor.....	20
<b>Gambar 2. 11</b> Skema inhibitor anodik.....	21
<b>Gambar 2. 12</b> Skema inhibitor katodik.....	22
<b>Gambar 2. 13</b> Physical adsorption antara muatan positif logam dengan anion inhibitor.....	23
<b>Gambar 2. 14</b> skema chemisorption.....	24
<b>Gambar 2. 15</b> Stuktur ikatan kimia inhibitor imidazoline .....	28
<b>Gambar 2. 16</b> Struktur molekul dari (a) Pyridine (b) Pyrrole dan (c) Imidazole .....	28
<b>Gambar 2. 17</b> Hasil FTIR Pada Inhibitor Imidazoline .....	29
<b>Gambar 2. 18</b> Skema Inhibitor Pembentuk Film.....	31
<b>Gambar 2. 19</b> Skema interaksi molekul imidazole dengan permukaan besi oksida.....	31
<b>Gambar 2. 20</b> Pengaruh konsentrasi surfaktan terhadap inhibisi korosi.....	32
<b>Gambar 2. 21</b> Skema imidazoline admicelle bilayer pada oksida besi. ....	34
<b>Gambar 2. 22</b> Laju korosi/ potensial – waktu respon untuk lauric imidazoline dengan perlakuan pada 0 rpm dan 6.000 rpm konsentrasi konstan.....	34

<b>Gambar 2. 23</b>	Struktur Kimia Parasetamol.....	36
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram alir penelitian.....	46
<b>Gambar 3. 2</b>	(a) Sampel baja ST 41 sebelum pengamplasan (b) proses pengamplasan spesimen (c) sampel baja ST 41 setelah pengamplasan.....	48
<b>Gambar 3. 3</b>	(a) Pengukuran tinggi sampel (b) Pengukuran diameter sampel (c) Proses penimbangan berat awal sampel .....	49
<b>Gambar 3. 4</b>	(a) Pengeboran tutup toples (b) Pengukuran panjang teflon .....	50
<b>Gambar 3. 5</b>	(a) proses cutting teflon (b) Pengeboran poros teflon (c) Melubangi tutup toples dengan solder (d) pengeboran untuk sekrup (e) pemasangan dinamo pada tutup toples .....	51
<b>Gambar 3. 6</b>	(a) Pemasangan sekrup pada teflon (b) Pemasangan potensiometer pada dinamo (c) Pemasangan spesimen uji pada poros putar (d) Proses solder dan merangkai .....	52
<b>Gambar 3. 7</b>	Bentuk alat Rotating Cylinder Electrode (RCE)....	53
<b>Gambar 3. 8</b>	Proses pengujian. ....	54
<b>Gambar 3. 9</b>	Penimbangan berat NaCl untuk pembuatan larutan .....	55
<b>Gambar 3. 10</b>	(a) inhibitor imidazoline (b) inhibitor parasetamol (c) mikropipet 10 – 100 $\mu$ l (d) proses penambahan inhibitor imidazoline dan parasetamol dengan mikropipet.....	56
<b>Gambar 3. 11</b>	(a) Rangkaian uji polarisasi dan EIS (b) satu set potensiostat Metrohm Autolab dan komputer.....	61
<b>Gambar 3. 12</b>	Instrumen pengujian XRD Panalytical. ....	62
<b>Gambar 4.1</b>	Pengaruh konsentrasi inhibitor campuran dan kecepatan putar terhadap laju korosi baja ST 41 pada pH 4.....	65
<b>Gambar 4. 2</b>	Pengaruh penambahan konsentrasi dan kecepatan putar terhadap efisiensi inhibitor korosi campuran pada pH 4....	66
<b>Gambar 4. 3</b>	Pengaruh konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar terhadap laju korosi baja ST 41 pada pH 6.....	67
<b>Gambar 4. 4</b>	Pengaruh konsentrasi dan kecepatan putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 6.....	68

<b>Gambar 4. 5</b> Pengaruh pH terhadap laju korosi baja ST 41 dengan kecepatan putar 150 RPM dan berbagai rasio volume inhibitor .69	.69
<b>Gambar 4. 6</b> Pengaruh pH terhadap laju korosi baja ST 41 dengan kecepatan putar 250 RPM dan berbagai rasio volume inhibitor .70	.70
<b>Gambar 4. 7</b> Perbandingan hasil pengujian polarisasi pada sampel dengan pH 4.....	73
<b>Gambar 4. 8</b> Perbandingan hasil pengujian polarisasi pada sampel dengan pH 6.....	74
<b>Gambar 4. 9</b> Perbandingan hasil pengujian dengan menggunakan metode polarisasi dan weight loss pada sampel dengan perbedaan konsentrasi inhibitor pada pH 4.....	75
<b>Gambar 4. 10</b> Perbandingan hasil pengujian dengan menggunakan metode polarisasi dan weight loss pada sampeldengan perbedaan konsentrasi inhibitor pada pH 6.....	75
<b>Gambar 4. 11</b> Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 4, kecepatan putar 250 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm (imidazoline): 100 ppm (parasetamol).....	77
<b>Gambar 4. 12</b> Equivalent circuit dari fitting kurva nyquist pH 4, 250 RPM dan konsentrasi (a) 0 ppm (b) 200 ppm : 100ppm.....	77
<b>Gambar 4. 13</b> Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 6, kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm (imidazoline) : 100 ppm (parasetamol).....	79
<b>Gambar 4. 14</b> Hasil FTIR pada inhibitor parasetamol.....	81
<b>Gambar 4. 15</b> Hasil FTIR Spesimen baja ST 41 pH 6, kecepatan putar 150 RPM, konsentrasi 200 ppm (imidazoline) : 100 ppm (parasetamol).....	83
<b>Gambar 4. 16</b> Perbandingan hasil FTIR bahan inhibitor dan sampel baja ST 41 .....	84
<b>Gambar 4. 17</b> Hasil pengujian XRD spesimen pH 6, kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor campuran 100 ppm : 200 ppm .....	87
<b>Gambar 4. 18</b> Hasil Pengujian XRD spesimen pH 6, kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor campuran 200 ppm : 100 ppm .....	88

**Gambar 4. 19** Pengamatan visual pada sampel baja ST 41 dengan perlakuan (a) sebelum proses running (b) Running dengan pH 6, 150 RPM tanpa inhibitor dan (c) Running dengan pH 6, 200 : 100 ppm, 150 RPM. .... 89

**Gambar 4. 20** Pengamatan visual pada sampel baja ST 41 dengan perlakuan (a) sebelum proses running (b) Running dengan pH 4, 0 ppm, 250 RPM dan (c) Running dengan pH 4, 200 : 100 ppm, 250 RPM. .... 90

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Komposisi kimia Baja ST 41 .....	4
<b>Tabel 2. 2</b> Kategori Laju Korosi .....	8
<b>Tabel 2. 3</b> Data Perhitungan Reynold Number dengan RCE .....	18
<b>Tabel 2. 4</b> Hasil Analisis Gugus Fungsi inhibitor imidazoline...	30
<b>Tabel 3. 1</b> Rancangan Data Hasil Uji Weight Loss.....	58
<b>Tabel 3. 2</b> Rancangan Data Hasil Uji EIS .....	59
<b>Tabel 3. 3</b> Rancangan Data Hasil Uji Polarisasi .....	60
<b>Tabel 3. 4</b> Parameter pengujian polarisasi linear. ....	61
<b>Tabel 3. 5</b> Rancangan Pengujian Keseluruhan .....	63
<b>Tabel 4. 1</b> Nilai bilangan reynold dan wall shear stress pada tiap kecepatan putar.....	64
<b>Tabel 4. 2</b> Energi bebas adsorpsi pada inhibitor campuran imidazoline dan parasetamol .....	71
<b>Tabel 4. 3</b> Hasil Pengujian Polarisasi.....	72
<b>Tabel 4. 4</b> Data equivalent circuit pada sampel pH 4.....	79
<b>Tabel 4. 5</b> Data equivalent circuit pada sampel pH 6.....	80
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil Analisa gugus fungsi inhibitor parasetamol .....	82
<b>Tabel 4. 7</b> Hasil analisa gugus fungsi sampel baja ST 41 .....	84
<b>Tabel 4. 8</b> Perbandingan hasil analisis gugus fungsi bahan inhibitor campuran dan sampel baja ST 41. ....	85

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



---

## BAB I PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Korosi  $\text{CO}_2$  adalah salah satu jenis korosi yang paling dominan ditemui pada industri minyak dan gas bumi. Terutama pada sistem produksi dan transportasi.. Korosi  $\text{CO}_2$  berawal dari terlarutnya gas  $\text{CO}_2$  dalam air atau minyak mentah. Hal ini sering dijumpai pada saluran distribusi minyak dan gas bumi, apabila karbondioksida terlarut dalam air maka akan bereaksi dan menghasilkan asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) sehingga menyebabkan “sweet corrosion” atau korosi  $\text{CO}_2$  (Bundjali, 2005). Korosi tidak dapat dihentikan karena merupakan fenomena alami yang pasti terjadi pada setiap logam, namun korosi dapat dikendalikan, dengan berbagai metode seperti cathodic protection, anodic protection, coating, dan inhibitor korosi. Inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu akan dapat menurunkan laju korosi dari logam terhadap lingkungan sekitar (Dalimunthe, 2004). Salah satu metode efektif untuk untuk melindungi logam dari korosi adalah dengan penggunaan inhibitor (Zhang, 2014).

Inhibitor korosi dikenal sebagai lini pertahanan pertama dalam melawan korosi internal pada *pipeline* (karthikaiselvi, 2013). Inhibitor dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu inhibitor organik dan inhibitor anorganik. Inhibitor anorganik memiliki sifat ihibisi yang baik dalam menghambat reaksi korosi. Akan tetapi inhibitor yang berbahan dasar kromat dan nitrat ini tidak ramah lingkungan dan berpotensi mengganggu kesehatan manusia. Karena inhibitor ini menggunakan bahan kimia sintesis, serta harganya relatif lebih mahal (Kusumastuti, 2012) Penggunaan dari bahan alam (organik) lebih dipilih karena bersifat aman, mudah didapat, bersifat *biodegradable*, murah dan ramah lingkungan, Senyawa organik mengandung heteroatom seperti O, N atau S, ikatan ganda yang dapat teradsorbsi pada permukaan logam dan menghalangi permukaan yang aktif untuk mengurangi laju korosi (Al-Zahrani, 2006). Ditinjau dari cara penggunaannya

---



Inhibitor korosi umumnya berbentuk cairan yang diinjeksikan pada *production line*. Karena inhibitor merupakan elemen yang penting dalam menangani korosi maka perlu dilakukan pemilihan inhibitor yang sesuai dengan kondisi (Nugroho, 2015). Dengan penggunaan baja karbon, inhibitor korosi dikenal sebagai pilihan yang paling praktis dan efektif pembiayaannya.

Jenis inhibitor yang paling umum digunakan pada industri minyak dan gas bumi adalah inhibitor dengan formulasi berbasis *imidazoline*. Sedangkan inhibitor organik obat parasetamol memiliki senyawa antioksidan *acetaminophen* yang merupakan senyawa fenolik yang berfungsi untuk menangkal radikal bebas (Husien, 2013). Oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mempelajari performa serta mekanisme inhibisi dari inhibitor campuran berbasis imidazoline dan parasetamol.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pH, kecepatan putar, dan rasio volume inhibitor campuran berbasis imidazoline dan parasetamol terhadap perlindungan korosi baja ST 41 di lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode *rotating cylinder electrode* (RCE) ?
2. Bagaimana mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi campuran berbasis imidazoline dan parasetamol yang dipengaruhi oleh pH, kecepatan putar, dan rasio volume pencampuran pada baja ST 41 di lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub> ?

## **I.3 Batasan Masalah**

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian, ditetapkan batasan-batasan masalah pada penelitian sebagai berikut :

1. Material baja ST 41 dianggap homogen dan bebas dari cacat.



2. Tidak ada perubahan yang terjadi pada temperatur dan volume larutan.
3. Tekanan Gas CO<sub>2</sub> dari tabung dianggap konstan.

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

Adapun Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh pH, kecepatan putar, dan rasio volume campuran inhibitor berbasis imidazoline dan parasetamol terhadap perlindungan korosi pada baja ST 41 di lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode *rotating cylinder electrode* (RCE).
2. Menganalisis mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi campuran imidazoline dan parasetamol yang dipengaruhi oleh pH, kecepatan putar dan konsentrasi pencampuran pada baja ST 41 di lingkungan yang mengandung gas CO<sub>2</sub>.

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

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini, diharapkan dapat dijadikan referensi pada penggunaan inhibitor komersial dan obat pada lingkungan industri hulu minyak dan gas bumi.
2. Mempelajari mekanisme inhibisi dengan adanya penambahan inhibitor campuran berbasis turunan imidazoline dan obat parasetamol pada pipa baja karbon pada lingkungan industri minyak dan gas bumi.



---

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1 Baja Karbon ST 41**

ST 41 adalah standar penamaan material DIN (*Deutsches Institut für Normung*) dari Jerman, angka 41 menandakan *tensile strength* dari jenis material ini adalah 41 kg/mm<sup>2</sup>, dengan kandungan karbon 0,2% yang merupakan jenis *low carbon steel*, memiliki kekuatan, ketangguhan, dan *ductility* cukup baik, serta ketahanan korosi rendah sama seperti baja karbon pada umumnya. (DIN Handbook 404 Iron and Steel Quality Standard, 2006).

Pada umumnya aplikasi dari baja ST 41 adalah pada manufaktur bejana tekan, *boiler*, dan pipa untuk transportasi fluida panas, dan bagian terkarburasi seperti roda gigi, pin, komponen *non – critical*, *pinion*, bagian mesin, serta pin rantai menggunakan baja karbon rendah ST 41, sangat sesuai untuk aplikasi yang tidak membutuhkan kekuatan tinggi dari besi paduan dan baja karbon tinggi, memberikan permukaan yang cukup keras dan bagian dalam yang tidak keras, lalu dapat juga digunakan untuk mencegah *crack* pada titik bending tertentu. Untuk pengelasan dapat digunakan elektroda las karbon rendah, tidak diperlukan *post heating* maupun *pre heating*. Tabel 2.1 adalah komposisi kimia dari baja ST 41. (Henan Gang Iron and Steel co., Ltd).

**Tabel 2. 1** Komposisi kimia Baja ST 41 (Henan Bebon International co., Ltd)

Unsur	Kandungan (%)
C	0,2
Fe	98,81 – 99,26
Mn	0,5 – 0,7
P	≤ 0,050
S	≤ 0,050
Si	0,15 – 0,35

**2.2 Definisi Korosi**

Korosi adalah suatu kerusakan material yang disebabkan oleh reaksi kimia antara sebuah logam atau logam paduan yang berada di dalam suatu lingkungan (Jones, 1996). Apabila terjadi

---



reaksi korosi, maka logam akan mengalami perubahan sifat (baik secara fisik maupun kimia) yang membuat material atau logam yang terserang korosi akan mengalami penurunan kualitas. Korosi dapat ditinjau dari segi termodinamikanya, dimana ketika proses ekstraksi berlangsung untuk mengubah *ore*, sejumlah besar energi diberikan kepada logam sehingga membuat logam ada pada kondisi energi yang tinggi. *Ore* tersebut berbentuk oksida dari logam seperti *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) untuk baja atau bauksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) untuk aluminium. Suatu prinsip dari termodinamika mengatakan bahwa material selalu mencari kondisi energi yang lebih rendah, dengan kata lain kebanyakan logam tidak stabil secara termodinamika dan akan selalu cenderung mencari kondisi energi lebih rendah yang merupakan bentuk oksida atau campuran. Proses dimana logam berubah menjadi oksida yang lebih rendah energinya disebut dengan korosi. (Peabody, 2001)

Proses korosi melibatkan pelepasan elektron (oksidasi) dari logam (reaksi 1) dan konsumsi dari elektron elektron tersebut oleh reaksi reduksi lainnya, seperti reduksi oleh oksigen atau air (persamaan 2 dan 3) masing – masing sebagai berikut :

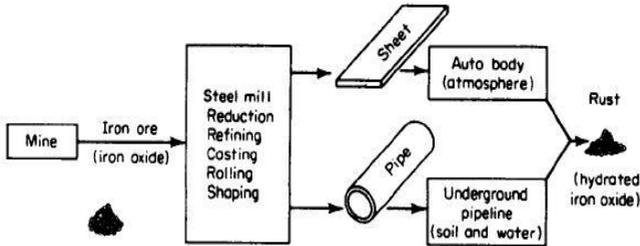


Reaksi oksidasi disebut sebagai reaksi anodik dan reaksi reduksi disebut dengan reaksi katodik. Kedua reaksi elektrokimia tersebut diperlukan agar reaksi korosi dapat terjadi. Reaksi oksidasi menyebabkan kehilangan logam sebenarnya, sedangkan reaksi reduksi harus ada untuk mengkonsumsi elektron yang dilepaskan oleh reaksi oksidasi, mempertahankan netralitas muatan. Jika tidak, muatan negatif dengan nilai yang besar akan meningkat dengan cepat antara logam dan elektrolit sehingga reaksi korosi dapat berhenti (Peabody, 2001). Maka dapat diketahui bahwa untuk terjadinya korosi dibutuhkan Anoda sebagai tempat terjadinya reaksi oksidasi (melepas elektron) , Katoda sebagai tempat terjadinya reaksi reduksi (mengikat elektron dari anoda) , lalu adanya elektrolit untuk transfer ion dan jalur kelistrikan atau



konduktor sebagai penghubung anoda dan katoda (Fontana, 1986).  
Gambar 2.1 ditunjukkan siklus yang terjadi pada logam.

**Gambar 2. 1** Siklus yang terjadi pada logam (Fontana, 1986)



Harus ada 4 elemen yang harus ada agar korosi dapat terjadi : (Octoviawan, 2012)

1. Terdapatnya anoda sebagai tempat terjadinya oksidasi.
2. Terdapatnya katoda sebagai daerah dimana terjadi reaksi reduksi dengan menerima elektron hasil proses oksidasi.
3. Terdapatnya elektrolit sebagai tempat elektron bergerak, yang menghubungkan antara anoda dan katoda.
4. Terdapatnya jalur kelistrikan (*electrical path*) atau konduktor

### 2.3 Klasifikasi Korosi

Korosi telah diklasifikasikan melalui berbagai metode. Ada metode yang membagi korosi menjadi korosi temperatur rendah dan korosi temperatur tinggi. Ada yang mengklasifikasikan korosi menjadi dua kombinasi (untuk oksidasi) korosi elektrokimia. Namun yang lebih sering digunakan adalah korosi basah dan korosi kering (Fontana, 1986).

Korosi basah terjadi ketika terdapat *liquid*. Ini biasanya melibatkan larutan berair atau elektrolit dan memberikan jumlah korosi terbanyak sejauh ini. Contoh paling sederhana adalah korosi baja oleh air. Korosi kering terjadi apabila tidak ada fase *liquid* atau di atas titik pengembunan dari lingkungan. Uap dan gas biasanya merupakan agen korosi. Korosi kering paling sering dihubungkan dengan temperatur tinggi. Sebagai contoh adalah serangan korosi pada baja oleh gas pada *furnace* (Fontana, 1986).



Adanya sejumlah kecil embun dapat mengubah penggambaran korosi seluruhnya. Contoh kloring kering bersifat tidak korosif pada baja, namun adanya embun atau kelembapan atau klorin terlarut dalam air, sangatlah korosif dan serangan pada umumnya menyerang logam dan paduannya. Berbeda dengan titanium, gas klorin kering lebih korosif dibandingkan dengan klorin basah (Fontana, 1986)

Sedangkan berdasarkan jenis kerusakan dan morfologinya terdapat delapan jenis korosi yang menyerang logam, yaitu sebagai berikut : (Fontana, 1986)

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

#### **2.4 Laju Korosi (*Corrosion Rate*)**

Laju korosi dapat di definisikan sebagai banyaknya logam yang terlepas setiap satu satuan waktu dari logam tersebut, perhitungan laju korosi sangat penting, karena akan dapat memprediksi umur pakai dari suatu material, pada umumnya laju korosi memiliki satuan *Mils Per Year* (Mpy), berikut adalah tabel 2.2 ditunjukkan kategori tingkatan dari laju korosi (McCafferty, 2010)



**Tabel 2. 2** Kategori Laju Korosi (McCafferty, 2010)

Relative corrosion resistance	Corrosion rate (mils per year, mpy)	Corresponding corrosion current density from Faraday's law (in $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )		
		Aluminum <sup>a</sup>	Iron <sup>b</sup>	Lead <sup>c</sup>
Outstanding	< 1	2.3	2.2	0.85
Excellent	1–5	2.3–12	2.2–11	0.8–4.3
Good	5–20	12–47	11–43	4.2–17
Fair	20–50	47–180	43–109	17–42
Poor	50–200	180–470	109–430	42–170
Unacceptable	> 200	> 470	> 430	> 170

### 2.4.1 Metode Kehilangan Berat (*Weight Loss*)

Metode kehilangan berat adalah salah satu metode perhitungan laju korosi yang paling umum dan sering digunakan metode ini didasarkan pada selisih berat awal sampel sebelum dilakukan pengujian korosi dan setelah dilakukan pengujian. (Priantoro, 2012). Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian, sehingga didapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi yang terjadi. Preparasi spesimen dilakukan dengan menggunakan kertas amplas dengan beberapa grade. Setelah itu dilakukan perendaman pada lingkungan korosi sesuai dengan waktu yang telah direncanakan (Jones, 1996). Perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode *weight loss* ini adalah sebagai berikut

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = \frac{KW}{DAT} \dots \dots \dots (2.1)$$

K= Konstanta Laju Korosi (mpy =  $3,45 \times 10^6$ )

W= Berat yang Hilang (gram)

D= Berat Jenis Logam ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

A= Luas Permukaan Kontak ( $\text{cm}^2$ )

T= Waktu (Jam)

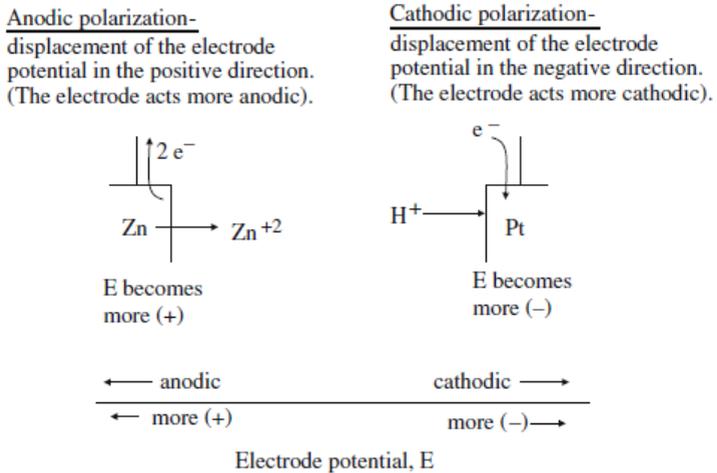
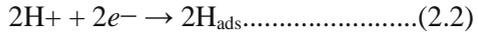
### 2.4.2 Metode Polarisation

Katoda dan anoda dapat terpolarisasi, Polarisation anoda adalah perubahan potensial elektroda pada arah positif, sehingga elektroda menjadi lebih bersifat anodik, sedangkan polarisation katodik adalah



perubahan dari potensial elektroda pada arah negatif sehingga elektroda menjadi semakin lebih bersifat katodik.

Contoh dari polarisasi katodik adalah reaksi evolusi hidrogen pada permukaan logam, pertama – tama atom hidrogen dihasilkan dari reaksi reduksi (McCafferty, 2010) dengan skema pada gambar 2.2



**Gambar 2. 2** Skema visualisasi polarisasi (McCafferty, 2010)

Perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode polarisasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan tafel :

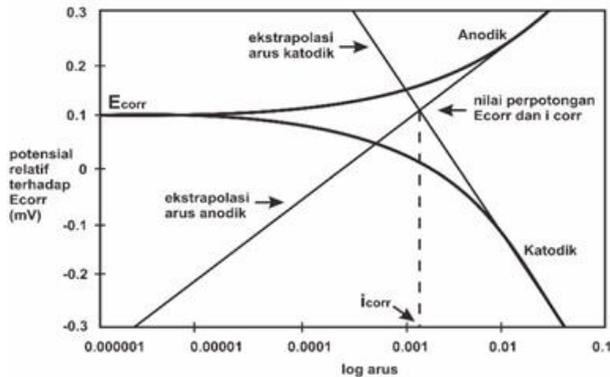
$$\eta a = \beta a \log \frac{ia}{i_0} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\eta c = \beta c \log \frac{ic}{i_0} \dots \dots \dots (2.4)$$



## Laporan Tugas Akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi

Dengan  $\eta_a$ ,  $\eta_c$ ,  $\beta_a$ ,  $\beta_c$ ,  $i_a$ , dan  $i_o$  secara berturut – turut adalah potensial polarisasi anodik, potensial polarisasi katodik, rapat arus anodik, rapat arus katodik dan rapat arus pada kesetimbangan. Sedangkan  $\beta$  dan  $\beta'$  adalah konstanta tafel atau beta anodik dan beta katodik (Jones, 1996) dengan contoh grafik pada gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Contoh grafik Polarisasi (Rahman 2016)

Laju korosi kemudian dapat dihitung baik dengan perangkat lunak ataupun dengan mekanisme perhitungan manual dengan membuat garis linear pada kurva anodik dan katodik, kemudian dilihat perpotongannya dan didapatkan nilai  $i_{corr}$ , kemudian memasukkan nilai tersebut ke dalam persamaan sebagai berikut :

$$mpy = \frac{0.129 \times i_{corr} \times EW}{D} \dots\dots\dots(2.5)$$

D = Berat Jenis Material

I = Rapat Arus Korosi

EW = Berat Ekuivalen Material yang Mengalami Korosi (Octoviawan, 2012)

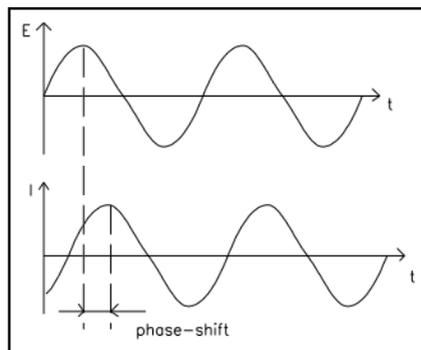
### 2.4.3 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

*Electrochemical Impedance Spectroscopy* sering digunakan dalam berbagai bidang korosi, seperti *coating*, pembentukan lapisan pasif dan keperluan evaluasi inhibitor, mempelajari kinetika reaksi elektrokimia, sifat listrik antar muka, mekanisme korosi, serta mekanisme inhibisi. Metode ini juga dapat digunakan



untuk memprediksi perilaku korosi secara akurat yang direpresentasikan sebagai model rangkaian listrik. Pengujian EIS dikenal sebagai metode yang kuat untuk memberikan informasi mengenai laju korosi, baik mengenai kinetika proteksi dan mekanismenya (Gusmano, 2006), pada penelitian ini digunakan EIS untuk mempelajari pembentukan film pada inhibitor campuran imidazoline dan parasetamol, impedansi elektrokimia biasa diukur dengan memberikan potensial AC (*Alternating Current*) pada sel elektrokimia dan dengan pengukuran melalui sel, asumsi jika diaplikasikan eksitasi potensial sinusoidal. Respon terhadap potensial ini adalah sinyal arus AC. Lalu daya sinyal ini dapat di analisis dengan penjumlahan fungsi sinusoidal (Jenis Fourier)

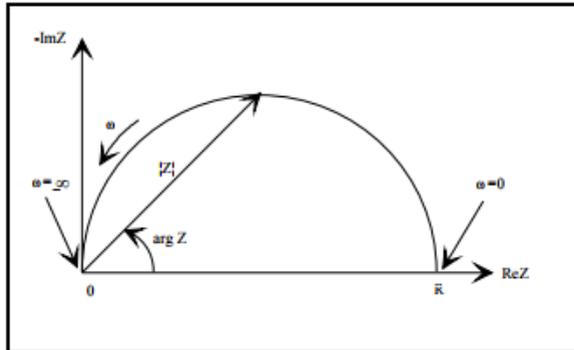
Biasanya impedansi diukur dengan menggunakan sinyal kecil eksitasi. Ini dilakukan agar respon berupa *pseudo-linear*. Dalam sistem linear atau *pseudo-linear*, respon arus menjadi potensial sinusoidal akan menjadi sinusoid dengan frekuensi yang sama, namun di ubah dalam beberapa tahapan yang dapat dilihat pada gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Perubahan kurva sinusoidal (Gamry Instruments, 2012)

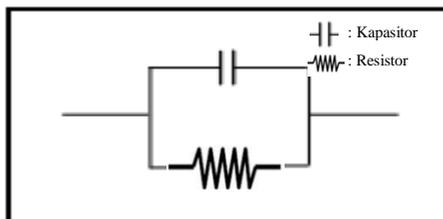


Hasil dari pengujian EIS adalah kurva Nyquist seperti pada gambar 2.5 yang merepresentasikan sebuah sirkuit atau rangkaian listrik yang terdiri dari hambatan (R) dan kapasitansi (C) yang biasa disebut sebagai sirkuit RC.



**Gambar 2. 5** Plot Nyquist dengan Vektor Impedansi (Gamry Instruments, 2012)

Harus diketahui jika sumbu Y dari grafik adalah negatif dan setiap titik pada plot kurva nyquist adalah impedansi pada satu frekuensi. Data dengan frekuensi lebih rendah ada pada sisi kanan dari plot kurva, sedangkan frekuensi lebih tinggi ada pada sisi kiri, pada plot Nyquist impedansi dapat di representasikan sebagai vektor (panah) dari panjang  $|Z|$ . Sudut antara vektor ini dan sumbu-X biasa disebut dengan *phase angle*, adalah  $\Theta$  (Gamry Instruments, 2012)



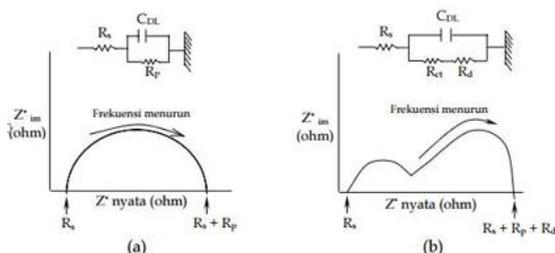
**Gambar 2. 6** Rangkaian listrik sederhana dengan satu model waktu konstan (Gamry Instruments, 2012)

Gambar 2.5 merupakan hasil sirkuit listrik dari gambar 2.6. Hasil tersebut menggambarkan setengah lingkaran yang



menunjukkan karakteristik dari sebuah “waktu konstan”. Impedansi elektrokimia biasanya menunjukkan beberapa setengah lingkaran, umumnya beberapa bagian dari setengah lingkaran dapat terlihat, dari hasil pengujian EIS didapatkan nilai tahanan polarisasi ( $R_p$ ), tahanan larutan ( $R_s$ ), kapasitansi lapisan rangkap ganda (CDL).

Gambar 2.7 ditunjukkan contoh model sirkuit sistem elektrokimia logam yang tercelup dalam larutan elektrolit (a) menunjukkan pada *interface* logam dengan larutan terdapat tahanan polarisasi ( $R_p$ ) adalah hambatan transisi antara elektroda dan elektrolit, apabila terjadi peningkatan hambatan polarisasi terhadap aliran pada sel elektrokimia disebabkan oleh reaksi pada elektroda (b) menunjukkan adanya hambatan transfer muatan ( $R_{ct}$ ), serta hambatan difusi ( $R_d$ ) paralel dengan lapisan rangkap yang dinyatakan dengan adanya kapasitansi lapis rangkap (CDL) dan secara seri dengan hambatan listrik larutan yang dinyatakan sebagai ( $R_s$ ). Lalu tergambar spektrum EIS berupa kurva Nyquist di bawah masing – masing sirkuit ekuivalen seperti gambar 2.9 (Amalia, 2005)



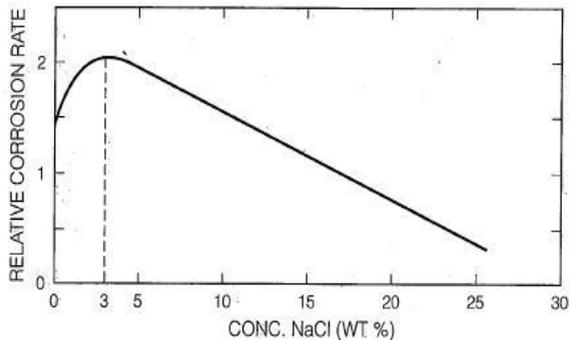
**Gambar 2. 7** Aliran Nyquist. (a) untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan oleh hambatan perpindahan muatan listrik (b) untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan proses difusi Pengaruh Konsentrasi NaCl Terhadap Laju Korosi (Amalia, 2015)

Konsentrasi NaCl sebagai larutan elektrolit juga memiliki pengaruh terhadap laju korosi, larutan NaCl sering digunakan untuk macam macam penelitian ataupun pengujian korosi, hal ini



bertujuan untuk mensimulasikan lingkungan air laut pada pengujian korosi (Amalia, 2015).

Konsentrasi NaCl juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen pada larutan. Semakin tinggi kelarutan NaCl, maka kelarutan oksigen akan semakin berkurang. Sehingga, akan mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada logam di larutan NaCl teraerasi. Pada larutan dengan kadar NaCl 3 % sampai dengan 3,5 % merupakan laju korosi tertinggi pada larutan NaCl. Hal ini dapat dilihat dari gambar 2.8 yang menunjukkan pengaruh konsentrasi NaCl terhadap laju korosi.



**Gambar 2. 8** Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi (Jones, 1996)

## **2.6 Korosi yang Disebabkan Oleh Gas CO<sub>2</sub>**

Pada industri hulu minyak dan gas bumi, salah satu jenis kasus korosi yang paling sering terjadi adalah jenis korosi CO<sub>2</sub>. Air adalah impuritas yang sering dijumpai dalam minyak dan gas bumi, dimana biasanya mengandung gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) (Adiyanti, 2011). Korosi CO<sub>2</sub> juga disebut sebagai *sweet corrosion*. Berikut adalah mekanisme terjadinya korosi CO<sub>2</sub>



- a. Disolusi Karbon Dioksida  
$$\text{CO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{aq}) \dots\dots\dots (2.6)$$
- b. Hidrasi Karbon Dioksida  
$$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \dots\dots\dots (2.7)$$
- c. Disosiasi Asam Karbonat  
$$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) \longleftrightarrow \text{H}^+(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-(\text{aq}) \dots\dots\dots (2.8)$$
- d. Disosiasi Ion Bikarbonat  
$$\text{HCO}_3^-(\text{aq}) \longrightarrow \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) \dots\dots\dots (2.9)$$
- e. Reaksi oksidasi Fe  
$$\text{Fe}(\text{s}) \longrightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \dots\dots\dots (2.10)$$
- f. Presipitasi Besi Karbonat  
$$\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \longleftrightarrow \text{FeCO}_3(\text{s}) \dots\dots\dots (2.11)$$

(Nesic, 2003)

Ketika gas  $\text{CO}_2$  terlarut pada air, maka akan terbentuk asam karbonat yang sangat korosif pada baja karbon daripada korosi yang disebabkan oleh HCl pada pH yang sama (Zhang, 2014). Korosi  $\text{CO}_2$  akan mempengaruhi proses pemilihan material yang digunakan dalam produksi, sistem transportasi dan fasilitas pengolahan. Masalah baru yang timbul pada korosi  $\text{CO}_2$  adalah adanya asam organik seperti asam asetat yang biasanya ditemukan di lapangan minyak dan gas bumi yang mempengaruhi laju korosi pada pipa baja karbon, Korosi  $\text{CO}_2$  menghasilkan produk korosi besi(II) karbonat yang larut dalam pipa maupun mengendap di permukaan dalam pipa minyak. Adanya lapisan film yang mengendap ini membantu menghambat terjadinya korosi (Santoso, 2011)

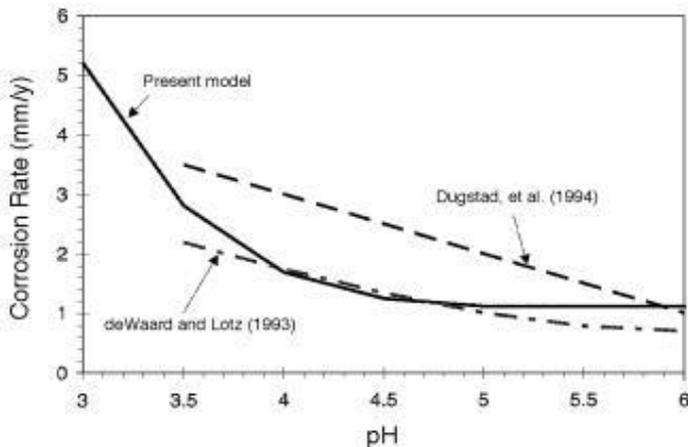
Lapisan besi (II) Karbonat yang mengendap Pada permukaan logam akan mengurangi luas permukaan logam yang bersentuhan dengan elektrolit, sehingga secara tidak langsung akan mengurangi laju korosi. Akan tetapi, lingkungan yang memiliki laju alir yang turbulen akan merusak lapisan produk korosi besi karbonat ( $\text{FeCO}_3$ ). Sehingga, reaksi korosi akan terjadi seiring dengan rusaknya lapisan besi karbonat ( $\text{FeCO}_3$ ) (Jones, 1996), Lapisan tersebut dapat berperan dalam menahan terjadinya korosi, namun apabila terjadi kerusakan lapisan besi (II) karbonat tersebut



akan memicu terjadinya korosi lokal (*localized corrosion*). Karena korosi CO<sub>2</sub> ini menyerang dari dalam (internal) pipa baja karbon, maka berbagai tindakan pencegahan harus dilakukan (Schweitzer, 2007).

### 2.7 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Korosi CO<sub>2</sub>

pH memiliki pengaruh yang kuat terhadap laju korosi pada korosi CO<sub>2</sub>. Untuk pH pada air murni disekitar pH 4, sedangkan pH pada air laut berkisar pada nilai 5-7. Pada korosi CO<sub>2</sub>, pada pH 4 dan lebih rendah, akan terjadi reduksi langsung ion H<sup>+</sup>. Sedangkan pada pH tinggi (>4), reaksi yang dominan adalah reduksi langsung dari asam karbonat. pH juga memiliki pengaruh yang tidak langsung terhadap kondisi pembentukan lapisan FeCO<sub>3</sub>. Pada pH tinggi (>4) akan mengakibatkan penurunan kelarutan FeCO<sub>3</sub> dan mengarahkan pada peningkatan laju pengendapan dan meningkatkan pembentukan *scale*, hal tersebut menimbulkan penurunan laju korosi yang terjadi pada korosi CO<sub>2</sub>. Gambar 2.9 menunjukkan pengaruh pH terhadap laju korosi pada korosi CO<sub>2</sub>.



**Gambar 2. 9** Pengaruh pH terhadap Laju Korosi (Nesic, 1996)

cukup besar terhadap laju korosi CO<sub>2</sub>, seiring dengan peningkatan tekanan parsial CO<sub>2</sub>, akan mengakibatkan meningkatnya laju korosi yang terjadi. Berdasarkan teori, apabila



## Laporan Tugas Akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi

---

tekanan parsial  $\text{CO}_2$  meningkat, maka akan mengakibatkan konsentrasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$  yang semakin tinggi, sehingga mengakibatkan peningkatan reaksi katodik dari korosi  $\text{CO}_2$  sehingga akan meningkatkan laju korosi. Pada pembentukan lapisan  $\text{FeCO}_3$ , peningkatan tekanan parsial  $\text{CO}_2$  akan membantu proses pembentukan. Lalu peningkatan tekanan parsial  $\text{CO}_2$  membuat konsentrasi  $\text{CO}_3^{2-}$  meningkat dan kejenuhan  $\text{FeCO}_3$  sehingga mempercepat terbentuknya lapisan  $\text{FeCO}_3$  (Pandyo, 2012).

Temperatur bersifat mempercepat semua kinetika proses yang terlibat dalam reaksi kimia, termasuk korosi. Sehingga pada korosi  $\text{CO}_2$  ketika pH tinggi, kenaikan temperatur dapat meningkatkan secara signifikan laju kintetik pengendapan dan pembentukan lapisan pelindung korosi (dapat berupa oksida besi) yang mengakibatkan menurunnya laju korosi

Laju aliran atau kecepatan aliran dapat mempengaruhi laju korosi yang terjadi dengan 2 mekanisme yaitu : (Nesic & George, 2007)

- Ketika lapisan protektif belum terbentuk, laju aliran turbulen akan meningkatkan transport massa menuju dan menjauhi permukaan logam, sehingga laju korosi meningkat
- Ketika lapisan besi karbonat ( $\text{FeCO}_3$ ) sudah terbentuk, atau adanya lapisan protektif sebagai akibat dari penambahan inhibitor pada permukaan baja, pengaruh laju aliran menjadi tidak signifikan, sehingga laju aliran akan mengganggu pembentukan lapisan pada permukaan atau bahkan merusak lapisan tersebut dan dapat meningkatkan laju korosi, selain itu jika lapisan pelindung ini rusak, maka akan menimbulkan *localized corrosion* seperti *pitting corrosion* pada permukaan baja (Pandyo, 2012)

Perhitungan bilangan reynold dilakukan dengan persamaan berikut

$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu \dots\dots\dots(2.12)$$

RE = Bilangan Reynold

$U_{cyl}$  = kecepatan linear dari permukaan luar (cm/s)

---



**Laporan Tugas Akhir**  
**Departemen Teknik Material dan Metalurgi**

- $d_{cyl}$  = Diameter sampel (cm)
- $\rho$  = Berat jenis larutan ( $gr/cm^3$ )
- $\mu$  = Viskositas larutan ( $gr/cm\ s$ )

sedangkan kecepatan linear dari permukaan luar dapat dihitung dengan persamaan

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60 \dots \dots \dots (2.13)$$

$\omega$  = Kecepatan putar (rad/s)  
 $d_{cyl}$  = Jari – jari sampel (cm)  
 $F$  = Kecepatan putar (RPM)

Karena pada penelitian ini digunakan kecepatan putar (RPM) sebagai parameter, maka harus dilakukan konversi ke laju aliran dengan persamaan 2.13.

Menurut institusi instrumen riset PINE, yang telah melakukan penelitian dengan menggunakan *rotating cylinder electrode* (RCE), dengan kecepatan putar 5 RPM sampai 2000 RPM, terjadi transisi antara kecepatan aliran laminar dan turbulen pada tingkat kecepatan antara 200 RPM dan 500 RPM, sehingga nilai bilangan reynold transisi yaitu 2100 berada diantara kecepatan putar tersebut seperti data pada tabel 2.3

**Tabel 2. 3** Data Perhitungan Reynold Number dengan RCE  
 (PINE Research Instruments, 2016)

Rotation Rate F (RPM)	Rotation Rate $\omega$ (rad / s)	Surface Velocity* $U_{cyl}$ (cm / s)	Wall Sheer Stress* $\tau_{cyl}$ (g / cm s <sup>2</sup> )	Reynolds Number* $R_e$ (unitless)
5	0.524	0.31	0.0025	42
10	1.047	0.63	0.0082	84
20	2.094	1.26	0.0267	169
50	5.236	3.14	0.1270	422
100	10.47	6.28	0.4125	844
200	20.94	12.6	1.3402	1688
500	52.36	31.4	6.3631	4219
1000	104.7	62.8	20.674	8438
2000	209.4	125.7	67.169	16876

Adanya aliran turbulen pada RCE akan menghasilkan *wall shear stress* pada permukaan cylinder. Menurut laporan pengamatan oleh Eisenberg, persamaan untuk *wall shear stress*,  $\tau_{cyl}$  (g/cm s) adalah :

$$\tau_{cyl} = 0,0791 \rho RE^{-0,3} U_{cyl}^2 \dots \dots \dots (2.14)$$



apabila nilai *wall shear stress* semakin besar, maka gerusan – gerusan yang terjadi pada permukaan logam spesimen akan semakin besar pula, sehingga dapat menggerus hasil produk korosi yang ada atau menggerus lapisan pasif tipis yang terbentuk dari adanya penambahan inhibitor korosi, sehingga meningkatkan laju korosi pada logam. (PINE Research Instruments, 2016)

### **2.8 Perlindungan dari Korosi**

Untuk melakukan perlindungan terhadap korosi, tindakan preventif tentunya harus dilakukan dengan cara mendesain sistem yang tidak rentan terhadap korosi, seperti dengan mencegah kontak antar logam dengan pemberian *gasket* pada sambungan antar logam yang berbeda jenis. Pada perlindungan eksternal pipa, dapat dilakukan beberapa metode proteksi, seperti proteksi katodik dengan pemberian arus paksa (*impressed current*) atau dengan menggunakan anoda tumbal (*sacrificial anode*), dan tentunya dengan pemberian pelapisan atau *coating* pada eksternal pipa untuk membatasi kontak antara logam dengan lingkungannya. Dapat juga dilakukan proteksi anodik yang bekerja dengan mengkorosikan lapisan eksternal permukaan pipa sehingga terbentuk lapisan pasif oksida logam yang melindungi dari serangan korosi, namun metode ini sulit digunakan karena apabila terdapat kerusakan pada lapisan akan menyebabkan korosi lokal yang sangat berbahaya yaitu korosi sumuran (*pitting corrosion*).

Sedangkan untuk perlindungan internal pipa, dapat digunakan inhibitor yang akan melindungi logam. Inhibitor banyak digunakan karena kemampuannya untuk bereaksi dengan lingkungannya untuk melindungi logam dari serangan korosi (Schweitzer, 2007)

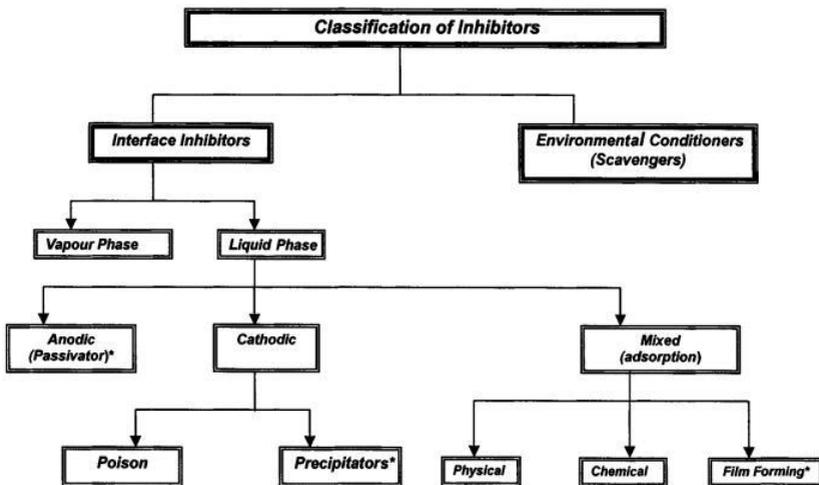
### **2.9 Inhibitor Korosi**

Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Secara khusus, menurut NACE (*National Association of Corrosion Engineers*) inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang dapat mencegah korosi bila ditambahkan ke lingkungan dalam konsentrasi yang kecil.



Penggunaan inhibitor korosi sering digunakan untuk melindungi dari korosi pada seluruh fasilitas petrokimia di dunia, karena biayanya yang murah dan juga fleksibel, total konsumsi inhibitor korosi di Amerika Serikat telah meningkat dua kali lipat dari 600 juta USD pada 1982 hingga mendekati 1,1 Milyar USD pada tahun 1998 (Gusmano, 2006).

Inhibitor dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu *interface inhibitors* dan *enviromental conditioners* seperti pada gambar 2.10, berikut adalah skema klasifikasi inhibitor menurut Uhlig



Gambar 2. 10 Klasifikasi Inhibitor (Uhlig, 2011)

### 2.9.1 Interface Inhibitors

#### A. Vapour Phase Inhibitor

Berbeda dengan *coating* atau pelapisan atau dengan *drying agents* inhibitor jenis *vapour phase* ini memberikan perlindungan dari korosi aktif dan pasif. Proses kimia dari korosi langsung dipengaruhi oleh *vapour phase* (Tribotec, 2014). Penggunaan inhibitor ini adalah untuk melindungi permukaan logam dari



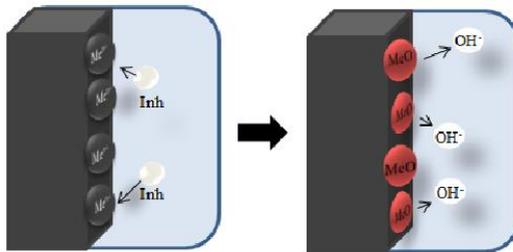
serangan korosi atmosfer. Proses inhibisinya disebabkan oleh penguapan yang lambat dari inhibitor sehingga logam terlindungi dari udara dan kelembapan. (Uhlig, 2011)

### B. Inhibitor Fase Cair (*Liquid Phase*)

Dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, dimana klasifikasi tersebut di dasarkan pada reaksi mana yang dihambat baik itu reaksi katodik maupun reaksi anodik, dan bahkan keduanya.

#### B.1 Inhibitor Anodik

Jenis inhibitor yang bekerja dengan membentuk produk atau lapisan pelindung yang menempel pada anoda melalui reaksi dengan ion – ion logam yang terkorosi sehingga dapat menurunkan laju korosi. Inhibitor jenis ini efektif, namun berbahaya apabila sedikit yang ditambahkan, korosi dapat terjadi pada bagian anoda yang tidak terlindungi dan menyebabkan korosi lokal seperti *pitting*, skema dapat dilihat pada gambar 2.11, contoh : *chromate, phosphate, tungstates* (Uhlig, 2011).

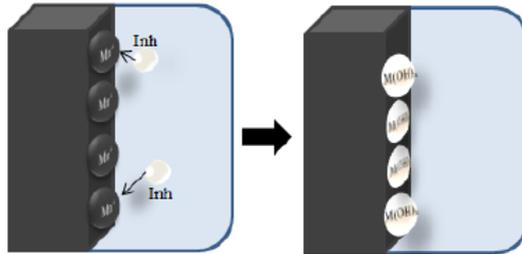


Gambar 2. 11 Skema inhibitor anodik (Schweitzer, 2010)



### B.2 Inhibitor Katodik

Jenis inhibitor yang bekerja dengan memperlambat reaksi katodik melalui unsur logam yang ada pada inhibitor bereaksi dengan elektrolit (mengganggu reaksi di katoda), lalu, mengendap di katoda, sehingga apabila terdapat anion korosif yang akan berdifusi ke logam, akan dihambat melalui reaksi dengan unsur logam yang ada pada inhibitor ini, skema dapat dilihat dari gambar 2.12 contoh : *antimony, calcium, zinc dan magnesium*. (Rozenfeld, 1981).



**Gambar 2. 12** Skema inhibitor katodik (Schweitzer, 2010)

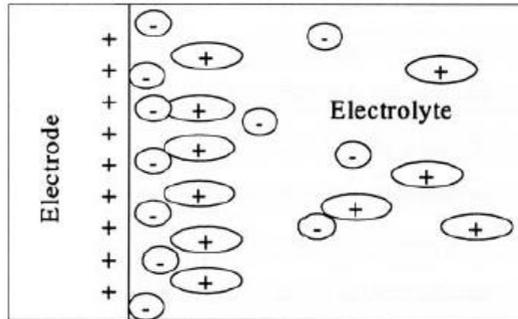
### B.3 Inhibitor Campuran

Inhibitor campuran pada dasarnya adalah senyawa organik yang tidak dapat dikelompokkan ke dalam golongan anodik maupun katodik. Keefektifan inhibitor organik dikaitkan dengan luasnya daerah adsorpsi yang melindungi permukaan logam dari korosi. Penyerapan atau adsorpsi inhibitor bergantung pada struktur inhibitor, muatan yang ada di permukaan logam dan jenis elektrolit. Inhibitor campuran melindungi permukaan logam dengan tiga cara yaitu *physical adsorption* dan *chemisorption*. (Priandini, 2001)

Dengan adanya mekanisme inhibisi tersebut, maka, Inhibitor ini akan mengurangi laju baik oksidasi anodik atau reduksi katodik, bahkan keduanya. Inhibitor itu sendiri akan membentuk lapisan pasif pada permukaan logam. Telah didalilkan bahwa inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, baik secara adsorpsi (elektrostatik) fisik, ataupun *chemisorption*.



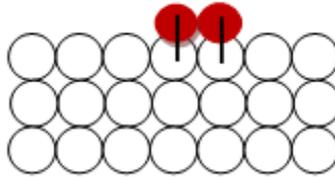
Adsorpsi fisik (*physical adsorption*) proses penyerapan atau adsorpsinya dapat terjadi karena adanya gaya tarik menarik (elektrostatik) antara permukaan logam dan inhibitor, ketika permukaan logam bermuatan positif, maka adsorpsi dari inhibitor yang bermuatan negatif (anionik) terjadi seperti gambar 2.13.



**Gambar 2. 13** *Physical adsorption* antara muatan positif logam dengan anion inhibitor (Uhlig, 2011)

Inhibitor ini memiliki kelebihan yaitu proses adsorpsinya sangat cepat tetapi memiliki kekurangan yaitu mudah terlepas dari permukaan logam. Peningkatan temperatur juga akan mengakibatkan kerusakan molekul yang teradsorpsi. (Uhlig, 2011)

Adsorpsi *chemisorption* adalah penyerapan yang melibatkan terjadinya berbagi muatan (*electron sharing*) atau serah terima muatan antara inhibitor dan permukaan logam. Penyerapan secara *chemisorption* membutuhkan waktu yang lebih lama bila dibandingkan dengan *physical adsorption*. Proses penyerapan *chemisorption* merupakan reaksi yang non reversibel dan berjalan lambat. Inhibitor organik dapat mengurangi laju korosi dengan penyerapan *chemisorption* pada permukaan logam melalui ikatan antara logam dan hetero atom seperti atom P, N, S, O. (Marco, et al., 2001) dengan contoh skema gambar 2.14



**Gambar 2. 14** skema *chemisorption* (Buckmen, 2002)

Molekul inhibitor teradsorpsi akan mengalami reaksi pada permukaan, menghasilkan *polymeric films* atau senyawa baru. Perlindungan korosi meningkat signifikan ketika lapisan bertumbuh dari sekitar lapisan teradsorpsi dua dimensi sampai lapisan tiga dimensi hingga ketebalan ratusan angstroms. (Uhlig, 2011)

Kekuatan adsorpsi inhibitor pada permukaan logam dapat ditunjukkan pada *Adsorption Isoterm*, yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi inhibitor di permukaan logam dan di larutan. Untuk mengetahui kekuatan adsorpsi dilakukan dengan menggunakan rumus isoterm.

Terdapat beberapa tipe *adsorption isoterm* yang dapat dijadikan referensi ketika mempelajari mekanisme inhibitor korosi. Salah satunya adalah isoterm adsorpsi *Langmuir* merupakan model paling sederhana dengan asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan hanya dapat mengadsorpsi satu molekul adsorbat untuk setiap molekul adsorbennya, tidak ada interaksi antara molekul – molekul yang teradsorpsi, semua proses adsorpsi dilakukan dengan mekanisme yang sama, hanya terbentuk satu lapisan tunggal saat adsorpsi maksimum.

$$\theta = \frac{Cr_0 - Cr_1}{Cr_0} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$K_{ads} = \frac{Cr_0}{C(1-\theta)} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln(55,5 \times K_{ads}) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana,

$Cr_0$  = CR tanpa inhibitor

$Cr_1$  = CR dengan inhibitor

C = Konsentrasi inhibitor pada larutan



$$R = 0,008314 \text{ KJ/ mol K}$$

$$T = \text{Temperatur (K)}$$

Sedangkan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan yang heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda.

$$\theta = K_{ads} \times C \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln(55,5 \times K_{ads}) \dots\dots\dots(2.20)$$

Apabila nilai  $\Delta G_{ads}$  negatif, maka dapat dipastikan proses adsorpsi berlangsung secara spontan dan terjadi stabilisasi lapisan teradsorpsi pada permukaan logam (Bentiss, 2005), bila nilai  $\Delta G_{ads}$  bernilai lebih positif dari -20 kJ/mol adalah adsorpsi secara *physisorption* (Zhang, 2001), jika nilai  $\Delta G_{ads}$  antara -20kJ/mol dan -40 kJ/mol maka proses adsorpsinya adalah campuran (Paksi, 2015), dan bila  $\Delta G_{ads}$  lebih negatif dari -40 kJ/mol adalah *chemisorption* (Hosseini, 2003).

Inhibitor dapat digunakan pada nilai Ph asam dari mendekati netral sampai alkalin. Dapat diklasifikasikan dengan berbagai cara menurut :

1. Sifat kimia (organik atau anorganik)
2. Karakteristiknya (*oxidizing* atau *non oxidizing*)
3. Aplikasi teknis lapangannya (*pickling, descaling, acid cleaning, cooling water system, etc*)

Pengunaan yang paling umum dan paling banyak diketahui dari inhibitor adalah aplikasi pada sistem pendingin *automobile* dan air umpan boiler (Schweitzer, 2007)

### 2.9.2 Enviromental Conditioners

Adalah jenis inhibitor yang mengubah perilaku dari lingkungan sekitar logam dengan menghilangkan zat – zat yang bersifat agresif ataupun anion – anion yang bersifat korosif, sehingga dapat menurunkan laju korosi proses tersebut dinamakan sebagai *scavengers* atau *enviromental conditioners*, bekerja dengan mengurangi ion oksigen yang terkandung dalam elektrolit.

Pada prakteknya, jumlah inhibitor korosi yang di tambahkan adalah sedikit, baik secara kontinu maupun periodik



menurut suatu selang waktu tertentu, adapun mekanisme kerja dari inhibitor dapat dibagi sebagai berikut :

- (1) Dengan adsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan tertentu. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logam.
- (2) Melalui pengaruh lingkungan (misalnya Ph) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- (3) Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
- (4) Dengan mengkondisikan lingkungan, dengan memproduksi presipitat, atau dengan menghapus atau menonaktifkan media yang bersifat agresif.

(Dalimunthe, 2004)

Adapun efisiensi penggunaan inhibitor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$IE = \frac{CR_0}{CR_i} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.21)$$

IE = Efisiensi Inhibitor (%)

Cr<sub>0</sub> = Laju korosi tanpa penggunaan inhibitor (mpy)

Cr<sub>i</sub> = Laju korosi dengan menggunakan inhibitor (mpy)

Secara umum, semakin meningkatnya konsentrasi inhibitor, maka efisiensi inhibitor akan semakin meningkat

### **2.10 Inhibitor Komersial Berbasis Imidazoline**

Inhibitor korosi komersial adalah inhibitor korosi organik tipe adsorpsi yang pada umumnya digunakan pada industri minyak dan gas bumi, memiliki struktur yang mirip dengan molekul surfactant, kepala polar yang memiliki muatan tersambung panjang, biasanya grup rantai alkyl. Banyak fungsi dioptimalkan untuk tujuan ini, dan inhibitor korosi komersial mengandung banyak bahan aktif seperti *fatty acids, amines, fatty*

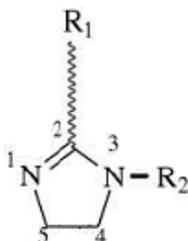


*amines/diamines, imidazolines, oxyalkylated amines, quaternary amines*, dan senyawa lainnya yang mengandung sulfur atau oksigen. Inhibitor bekerja dengan menempelkan kelompok kepala polar pada sisi anodik dan katodik pada permukaan baja yang mengalami korosi. Bagian ekor hidrofobik meluas kedalam larutan, meminjamkan dirinya menuju *co-adsorption* dari minyak dan menghasilkan lapisan hidrofobik pasif protektif yang dapat menghambat korosi pada baja. (Marco, et al., 2001)

Imidazoline dan turunannya dianggap sebagai salah satu inhibitor organik yang paling efektif, dan telah banyak digunakan untuk melindungi *pipeline* dari korosi yang disebabkan gas  $\text{CO}_2$ . Karena biodegradabilitasnya, turunan imidazoline diketahui sebagai inhibitor korosi yang ramah lingkungan. Efektifitas inhibisi dari turunan imidazoline berasal dari adsorpsi dari inhibitor pada permukaan logam. Inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan logam dapat menekan serta menghambat reaksi elektrokimia yang terjadi pada saat proses korosi terjadi (Zhang, 2015).

Gambar 2.15 ditunjukkan struktur ikatan kimia inhibitor berbasis *imidazoline* dengan struktur sebagai berikut (Jaal, 2014)

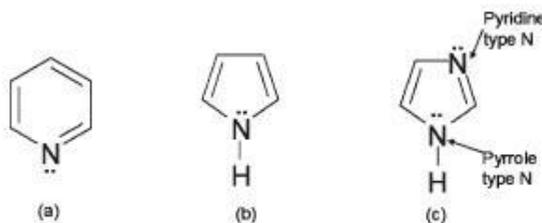
1. Ekor rantai hidrokarbon (R1) menyelimuti permukaan logam sehingga bersifat hidrofobik dan menghindarkan kontak dengan lingkungan korosif.
2. Bagian kelompok rantai *pendant* (R2) merupakan grup fungsional aktif, juga disebut sebagai rantai cabang hidrofilik biasa terdiri dari atom nitrogen, oksigen dan heteroatom lainnya.
3. Bagian Kepala polar, bersifat hidrofilik dengan lima cincin atom dengan dua unsur nitrogen



**Gambar 2. 15** Struktur ikatan kimia inhibitor imidazoline (Jaal, 2014)

Ekor rantai hidrokarbon dan grup *pendant* harus memiliki koefisien pemisahan yang sesuai antara hidrokarbon dan fase air, agar lapisan dapat membentuk *hydrophobic barrier* yang menghalangi air dari permukaan. Berdasarkan perhitungan energi ikatan permukaan (*surface binding energy*), menunjukkan adanya adsorpsi imidazoline pada oksida besi ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (Ramachandran & Jovancevic, 1998) dan besi karbonat ( $\text{FeCO}_3$ ) (Dugan, et al., 1999) yang dapat membentuk lapisan pertama pada permukaan logam.

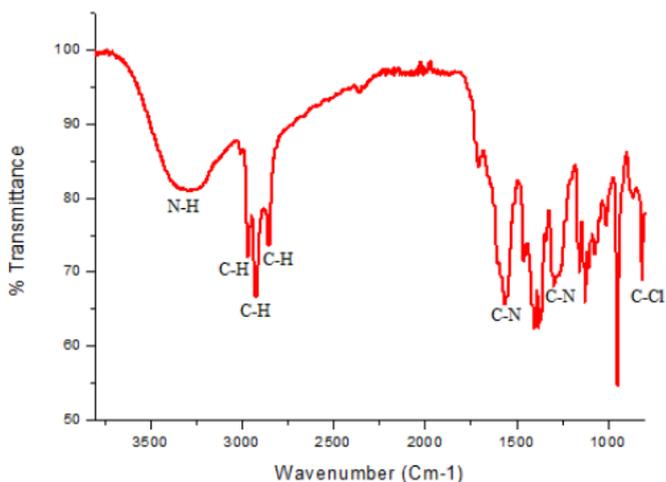
Imidazoline punya kelarutan yang sangat rendah pada fase cair, dan untuk meningkatkan kelarutan, campuran ini biasanya dirubah menjadi garam dengan asam. Asam yang paling umum untuk tipe formulasi ini adalah asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Telah terbukti bahwa karboksilat dapat mempengaruhi orientasi dari inhibitor organik pada permukaan logam (Gusmano, 2006)



**Gambar 2. 16** Struktur molekul dari (a) Pyridine (b) Pyrrole dan (c) Imidazole (Bhargava, 2009)



Gambar 2.16 adalah struktur dari molekul – molekul imidazoline, Imidazole memiliki dua tipe atom nitrogen: tipe *pyridine* dan tipe *Pyrrole*. Mekanisme *chemisorption* bekerja dari *pyridine* menuju Fe berasal dari donasi atom nitrogen yang tidak mempunyai pasangan menuju sisi asam pada permukaan, maka *pyridine* mengalami adsorpsi dengan permukaan/ antarmuka dari cincin yang tegak lurus dengan permukaan logam dengan atom nitrogen yang terdekat dengan permukaan baja, Sedangkan pasangan elektron pada atom nitrogen *Pyrrole*, dibutuhkan untuk stabilisasi rantai aromatik karena pemberian dua elektron dari nitrogen pada bagian kepala (*head group*) dari struktur *imidazoline* (Bhargava, 2009).



**Gambar 2. 17** Hasil FTIR Pada Inhibitor Imidazoline (Ravelia, 2017)



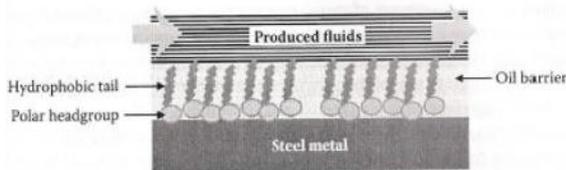
**Tabel 2. 4** Hasil Analisis Gugus Fungsi inhibitor imidazoline  
(Ravelia, 2017)

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Range Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan	Gugus Fungsi
3290,07	3400-3250	N-H	1°,2° Amines
2966	3000-2850	C-H	Alkane
2924,65	3000-2850	C-H	Alkane
2854,65	3000-2850	C-H	Alkane
1561	1660-1580	C=N	Aromatic Ring
1404,59	1500-1400	C Stretch (in rings)	Aromatics
1299,11	1335-1250	C-N	Aromatic Amines
1160,16	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1128,88	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1107,01	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
1072,64	1250-1020	C-N	Aliphatic Amines
951,58	950-910	O-H	Carboxylic acid
816,69	850-550	C-Cl	Alkyl Halides
650,96	850-550	C-Cl	Alkyl Halides
650,96	690-515	C-Cl	Alkyl Halides
614,81	690-515	C-Br	Alkyl Halides

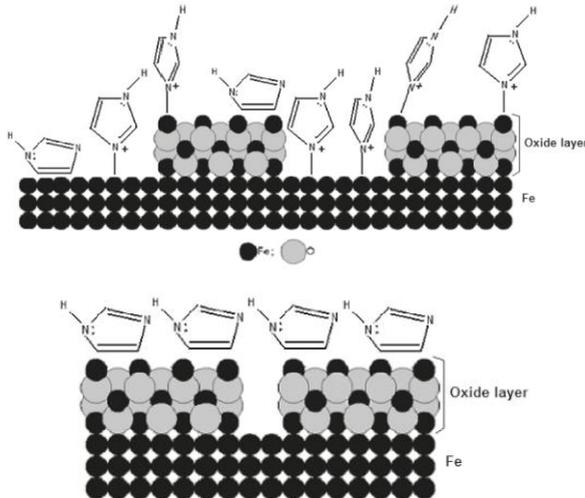
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ravelia (2017), dengan hasil FTIR pada gambar 2.17 dan tabel 2.4 ditunjukkan hasil analisis gugus fungsi pada bahan inhibitor *imidazoline*, terdapat beberapa gugus fungsi yang sesuai dengan struktur molekul dari inhibitor *imidazoline* pada gambar 2.14 Gugus fungsi tersebut adalah *amine* (N-H), *aromatic rings* (C=N), *aromatics* (C stretch in ring), dan *amines* (C-N).



Imidazoline merupakan jenis *Film forming corrosion inhibitors (FFCI)* adalah senyawa organik yang biasanya mengandung nitrogen dan rantai panjang hidrokarbon ( $C_{18}$ ). Surfaktan adalah komponen kelas kimia yang terdiri dari bagian ekor hidrofobik dan bagian kepala yang hidrofilik. Ekor hidrofobik sangat menyukai minyak (namun tidak suka air), dan kepala hidrofilik sangat menyukai air. Mereka teradsorbsi pada permukaan logam seperti skema gambar 2.18 sehingga menghasilkan lapisan penghalang minyak di antara fluida produksi dan permukaan logam (Woie, 2011)



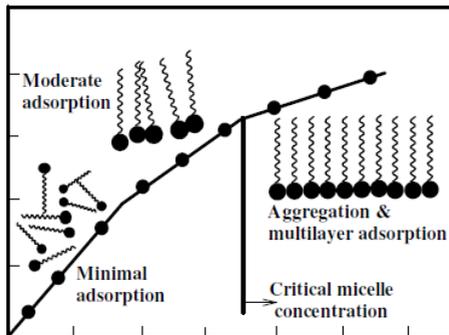
Gambar 2. 18 Skema Inhibitor Pembentuk Film (Woie, 2011)



Gambar 2. 19 Skema interaksi molekul *imidazole* dengan permukaan besi oksida (Bhargava, 2009)



Gambar 2.19 adalah representasi skematis dari susunan atom dari permukaan logam dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan adanya pori-pori dimana imidazoline ditambahkan pada media korosif (tanpa reduksi elektrokimia), ketiadaan dari atom  $\text{N}^+$  mengindikasikan sistem elektron berinteraksi dengan Fe dan rantai lebih paralel terhadap permukaan. ini mengindikasikan imidazoline berinteraksi dengan permukaan besi/besi oksida melalui rantai heterosiklik yang kaya elektron daripada melalui atom nitrogen secara individual. (Bhargava, 2009)



**Gambar 2. 20** Pengaruh konsentrasi surfaktan terhadap inhibisi korosi (Malik, 2011)

Surfaktan adalah zat yang dapat mereduksi tegangan permukaan atau tegangan antar muka antara dua fase, inhibitor imidazoline yang merupakan jenis surfaktan, pada saat belum mencapai mencapai CMC (Critical Micelle Concentration) atau di bawah CMC, molekul – molekul surfaktan lebih cenderung teradsorpsi pada bagian tepimuka yang terekspos, sehingga terjadi *interfacial aggregation* yang menyebabkan berkurangnya *surface tension*, berhubungan dengan inhibisi korosi, bila konsentrasi di atas CMC, permukaan menjadi ditutupi oleh lebih dari satu monolayer dan membentuk perlindungan pada permukaan logam, sehingga apabila di atas CMC akan membentuk formasi micelles atau lapisan permukaan yang teradsorpsi pada permukaan seperti ilustrasi gambar 2.20 (Malik, 2011).

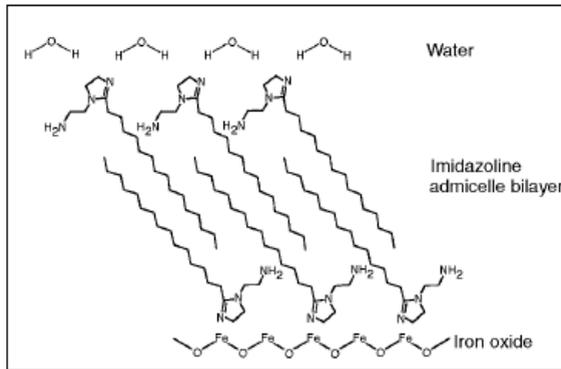


---

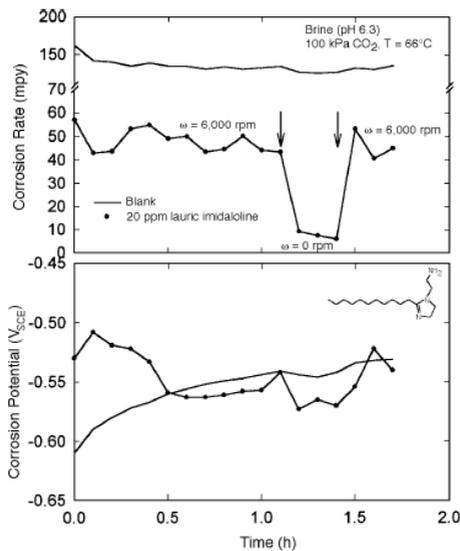
### **2.11 Stabilitas *Imidazoline Film***

Formasi film (adsorpsi) dari surfaktan menuju permukaan logam dapat di deskripsikan oleh mekanisme yang sama yang menyebabkan formasi *miceelles* dalam larutan cair : efek hidrofobik. Distribusi muatan surfaktan dan heterogenitasi dari permukaan juga berkontribusi dalam formasi *bilayer* inhibitor (*admicelle*) di dekat atau pada *Critical Micelle Concentration* (CMC) seperti pada gambar 2.21. Lapisan film yang lebih tebal dapat terbentuk pada konsentrasi lebih tinggi dari inhibitor dengan adanya *micelles* besar (aglomerasi) dalam larutan.

Gambar 2.22 menunjukkan pengaruh kecepatan putar pada laju korosi/ waktu respon potensial untuk 20 ppm *lauric* imidazoline. Pada konsentrasi ini, laju korosi yang cukup tinggi terlihat saat 6000 rpm (40 mpy). Perubahan kecepatan putar dari 6000 rpm ke 0 rpm menghasilkan penurunan laju korosi yang sangat cepat menjadi 5 mpy. Perubahan laju korosi yang sangat terlihat ini dapat diamati meskipun terjadi penurunan imdazoline atau *micelles* berdifusi ke permukaan. Sehingga penurunan laju korosi pada larutan yang stagnan dapat dijelaskan dengan adanya formasi dari lapisan pasif imidazoline yang lebih tebal atau lebih stabil tanpa adanya pengadukan (tanpa *shear stress*) atau kondisi lingkungan yang tidak agresif (seperti lebih rendahnya difusi dari gas CO<sub>2</sub>). Stabilitas dan keseragaman dari lapisan *lauric* imidazoline bergantung pada kondisi hidrodinamis. Berdasarkan hasil, difusi dari imidazoline terlihat tidak signifikan dibandingkan dengan *shear stress* dan efek pola aliran dari lapisan formasi inhibitor.



**Gambar 2. 21** Skema imidazole admicelle bilayer pada oksida besi. (Jovancevic, 1999)



**Gambar 2. 22** Laju korosi/ potensial – waktu respon untuk lauric imidazole dengan perlakuan pada 0 rpm dan 6.000 rpm konsentrasi konstan. (Jovancevic, 1999)

## 2.12 Inhibitor Obat Parasetamol

Parasetamol memiliki nama lain *acetaminophen* obat ini termasuk sebagai analgesik (antinyeri) dan antipiretik (penurun



panas). Mekanisme kerja parasetamol yaitu sebagai inhibitor prostaglandin (senyawa penyebab inflamasi) yang lemah. Memiliki mekanisme kerja dengan menghalangi produksi prostaglandin, yang merupakan bahan kimia yang terlibat dalam transmisi pesan rasa sakit ke otak. Dengan mengurangi produksi prostaglandin, parasetamol membantu meredakan rasa sakit, seperti sakit kepala, sakit/nyeri pada anggota tubuh lainnya dan demam atau panas (Mediskus, 2013)

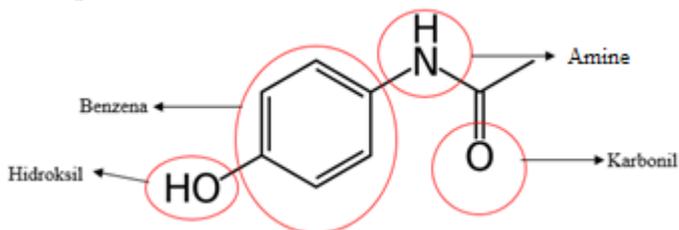
Parasetamol merupakan senyawa organik yang memiliki aktivitas analgesik dan antipiretik yang jelas, namun hanya bersifat perifer anti peradangan kecil (Brian, 2008), mekanisme inhibisi dari parasetamol pada sel eritrosit telah diidentifikasi oleh Borges, dkk yang mengatakan bahwa mekanisme inhibisi berasal dari anti oksidan yang berasal dari senyawa turunan fenolik, agen antioksidan pada parasetamol yaitu senyawa fenol dan *acetamide* bekerja dengan cara mendonasikan elektron dengan cara *ortho* atau *para substitute*, ketika *carboxyl acid* menarik elektron.

Pada tubuh manusia, parasetamol bekerja dengan mengurangi produksi prostaglandin dengan mengganggu enzim cyclooxygenase (COX). Parasetamol menghambat kerja COX pada sistem syaraf pusat yang tidak efektif dan sel endothelial dan bukan pada sel kekebalan dengan peroksida tinggi. Kemampuan menghambat kerja enzim COX yang dihasilkan otak inilah yang membuat parasetamol dapat mengurangi rasa sakit kepala dan dapat menurunkan demam tanpa menyebabkan efek samping, tidak seperti analgesik-analgesik lainnya. (Bertolini, 2006)

Kapabilitas antioksidan dari turunan fenol dapat di ketahui melalui metode teoritis, sifat teoritis seperti parameter elektrik baik melalui transfer elektron atau hidrogen. Parasetamol baik dalam memberikan inhibisi, hal ini terjadi karena kelompok pendonor elektron seperti *phenol* dan *acetamide* mensubstitusikan elektron secara *ortho* atau *para* menggantikan parasetamol (Borges, et al.,



2014). Gambar 2.23 adalah struktur kimia dari parasetamol yang yang merupakan turunan dari *phenol*



**Gambar 2. 23** Struktur Kimia Parasetamol (Bertolini, 2006)

Sebuah molekul itu sendiri dapat berperan sebagai antioksidan utama jika dapat mendonasikan atom hidrogen dengan cepat ke radikal lipida dan apabila radikal berasal dari antioksidan yang lebih stabil dibandingkan dengan radikal lipid, atau diussbah menjadi produk lain yang stabil. *Phenol* sendiri bersifat tidak aktif sebagai antioksidan, namun substitusi gugus alkil ke dalam posisi 2,4 dan 6 meningkatkan densitas elektron pada gugus hidroksil secara induktif sehingga meingkatkan reaktivitas dengan radikal lipid. Substitusi pada posisi 4 dengan kelompok etil atau n-butil daripada gugus metil meningkatkan aktivitas antioksidan *phenolic* tetapi rantai yang lebih panjang atau gugus alkil bercabang pada posisi ini menurunkan aktivitas.

Pada proses korosi, mekanisme inhibisi dari parasetamol dapat direlasikan dengan pengikatan radikal bebas oleh senyawa antioksidan yang terkandung dari rantai *phenol* dari parasetamol yang bekerja secara adsorpsi fisik dengan cara melepaskan ion hidrogen, sehingga ion positif hidrogen tersebut akan bereaksi dengan anion – anion korosif yang terkandung di dalam elektrolit sehingga permukaan baja (Fe) tidak akan bereaksi dengan anion korosif tersebut, sehingga dapat menghambat reaksi elektrokimia dari korosi. Karena perbedaan mekanisme inhibisi dari inhibitor berbasis imidazoline dengan obat parasetamol, oleh sebab itu penelitian ini dilakukan agar mengetahui perlakuan, reaksi maupun fenomena yang terjadi apabila imidazoline di campurkan dengan parasetamol, apakah efisiensi inhibitor akan semakin baik, semakin



menurun, atau sama sekali tidak berubah terutama pengaruhnya terhadap laju korosi pada baja karbon rendah. Penambahan parasetamol harus dikontrol dengan baik, karena apabila berlebihan, beberapa senyawa organik yang mengandung gugus amino dapat berupa akselerator korosi karena efek katalitik dalam reaksi evolusi hidrogen (Vaduva, et al., 2011).



### 2.13 Penelitian Sebelumnya

Penulis	Judul	Hasil
Dendra Ravelia (2017)	Pengaruh pH, Kecepatan Putar, dan Konsentrasi Inhibitor Berbasis Imidazoline Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1045 di Lingkungan yang Mengandung Gas CO <sub>2</sub>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Penambahan konsentrasi inhibitor korosi <i>imidazoline</i>, menurunkan laju korosi baja AISI 1045 pada pH 5. Pada pengujian pH 7, laju korosi menurun sampai dengan konsentrasi 100 ppm. Kemudian, terjadi sedikit peningkatan laju korosi pada konsentrasi 150 ppm dan menurun kembali pada 200 ppm. Meningkatnya kecepatan putar menaikkan laju korosi baja AISI 1045. Meningkatnya nilai pH menurunkan laju korosi baja AISI 1045</li><li>2. Mekanisme inhibisi dari inhibitor korosi <i>imidazoline</i> adalah <i>chemisorption</i> dengan adanya donor elektron atom nitrogen <i>pyridine</i> dengan Fe. Kemudian bagian rantai hidrokarbon menghindarkan permukaan logam untuk bersentuhan dengan elektrolit karena bersifat hidrofobik. Sehingga, terbentuk lapisan yang melindungi permukaan logam dari korosi.</li></ol>



<p>Saddam Husein (2013)</p>	<p>PEMANFAATAN OBAT PARACETAMOL SEBAGAI INHIBITOR KOROSI PADA BAJA API 5L GRADE B DALAM MEDIA 3.5% NACL DAN 0.1M HCL</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Dalam media NaCl 3.5% nilai laju korosi terendah adalah 0.008mm/yr pada konsentrasi 200ppm inhibitor obat paracetamol dengan efisiensi hingga 66.67%. Sedangkan pada HCl 0.1M nilai laju korosi terendah pada konsentrasi 200ppm inhibitor obat paracetamol adalah 0.291mm/yr dengan efisiensi sebesar 53.14%.</li><li>2. Semakin tinggi konsentrasi inhibitor maka kandungan H<sup>+</sup> dalam elektrolit akan semakin meningkat (inhibitor bekerja dengan melepas H<sup>+</sup> pada elektrolit) dan membuat elektrolit menjadi semakin asam, oleh karena itu laju korosi meningkat pada konsentrasi diatas 200ppm. Sehingga pada penelitian ini konsentrasi paling efektif adalah 200ppm dengan laju korosi paling rendah.</li></ol>
-----------------------------	--	--



<p>Brian J. Anderson (2008)</p>	<p>Paracetamol (Acetaminophen) : mechanisms of action</p>	<p>1. <i>Antinociception</i> parasetamol adalah melalui intervensi dengan jalur turun <i>serotonergic</i>. Mekanisme tersebut tidak menyangkal bahwa argumen dimana tempat bereaksi masih berasal dari inhibisi sintesis PG, dimana parasetamol bekerja sebagai substrat reduktor pada POX dari enzim PGHS</p>
<p>Huan Huan Zhang, Xiaolu Pang, Meng Zhou, Chao Liu, Liang Wei, Kewi Gao (2015)</p>	<p><i>The behavior of pre-corrosion effect on the performance of imidazoline-based inhibitor in 3 wt.% NaCl solution saturated with CO<sub>2</sub></i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proses adsorpsi dari inhibitor imidazoline adalah secara <i>chemisorption</i> diikuti dengan <i>langmuir isotherm</i>.</li> <li>2. Efisiensi inhibitor mencapai 98.7%, namun efek pra korosi dapat menurunkan efisiensi inhibisi dan memancing korosi lokal.</li> <li>3. Penurunan efisiensi inhibisi disebabkan karena adanya FeCO<sub>3</sub> dan permukaan baja yang telah terkorosi sebelumnya.</li> <li>4. Peningkatan area permukaan dari area yang terkorosi sebelumnya punya efek negatif</li> </ol>



		terhadap performa inhibitor.
Rosivaldo S. Borges, dkk (2014)	A Structure and Antioxidant Activity Study of Paracetamol and Salicylic Acid	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Parasetamol memiliki sifat antioksidan lebih baik di bandingkan dengan <i>Salicylic acid</i> dari studi eksperimen dan teoritis</li><li>2. Hal itu dikarenakan mekanisme transfer elektron ataupun atom hidrogen dengan mengevaluasi radikal hidroksil</li><li>3. Menurut mekanisme teoritis, menunjukkan bahwa transfer hidrogen lebih memungkinkan jika dibandingkan dengan transfer elektron</li><li>4. Dari studi yang telah dilaksanakan menunjukkan bahwa abstraksi dari elektron lebih memungkinkan pada parasetamol daripada di <i>Salicylic acid</i></li><li>5. Parasetamol menunjukkan inhibisi penghambatan aktivitas peroksidasi lipid yang lebih baik dibandingkan dengan <i>salicylic acid</i></li></ol>



		Hal itu dikarenakan grup pendonor elektron seperti <i>phenol</i> dan <i>acetamide</i> yang mensubstitusi elektron secara <i>ortho</i> atau <i>para</i>
V. Jovancevici, S. Ramachandran dan P.Prince	<i>Inhibition of Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel by Imidazolines and Their Precursors</i>	<p>1. Inhibisi korosi dengan dari berbagai rantai lurus imidazoline dan <i>amides</i> dalam RCE bergantung pada tipe perlakuan yang diberikan : konsentrasi konstan atau perlakuan konsentrasi variabel. Perbedaan signifikan dalam aktivitas antara inhibitor tersebut (<math>C_{20} \gg C_{12}</math>) didapatkan dari perlakuan kontinyu, sementara tidak ada perbedaan pada perlakuan konsentrasi variabel</p> <p>2. Efek dari panjang rantai hidrokarbon imidazoline dan inhibisi korosi cukup signifikan. Relasi linear didapatkan antara konsentrasi efektif minimum dan panjang rantai panjang hidrokarbon, tidak ada inhibisi korosi terlihat. Efek dari kelompok hidrofobik pada inhibisi korosi imidazoline dapat</p>



		<p>berhubungan dengan energi kohesif <i>bilayer admiceles</i> yang tinggi</p> <p>6. Untuk panjang rantai tertentu, efek dari grup kepala hidrofilik dari surfaktan berbasis nitrogen (imidazoline, amide, amine) kurang disebutkan dibandingkan dengan grup hidrofobik (<math>C_{12}</math> dan <math>C_{18}</math>) namun tidak signifikan. hasil mengilustrasikan pentingnya kepala grup kepala hidrofilik pada formasi <i>bilayer film</i></p>
--	--	---

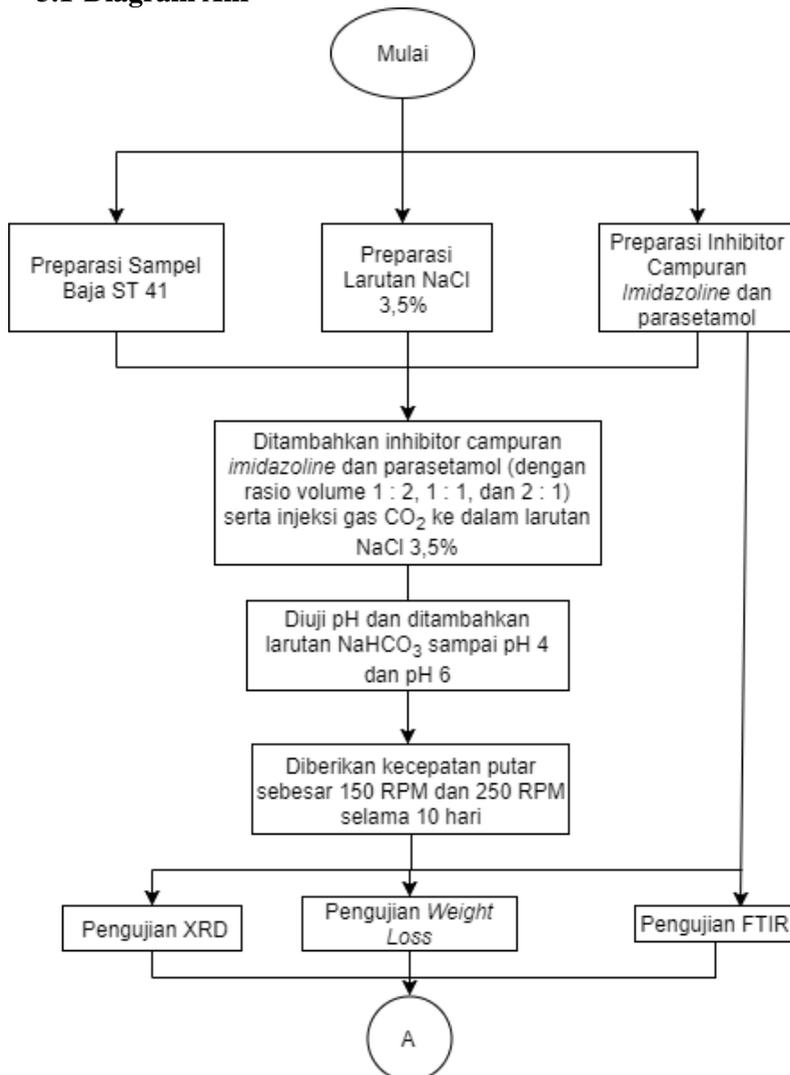


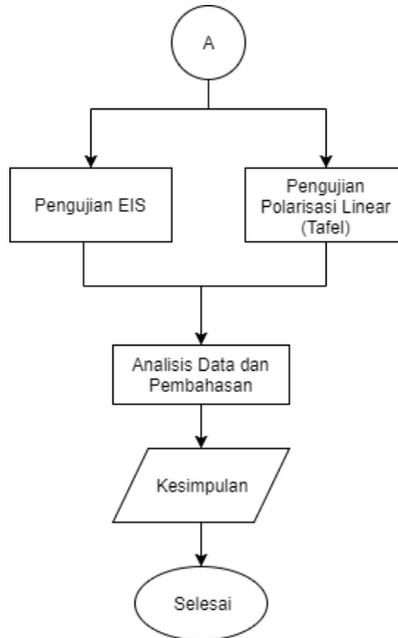
<p>Nicolae Vasilescu, dkk</p>	<p><i>Corrosion inhibitors from expired drugs</i></p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Penggunaan tablet parasetamol dan <i>carbamazepine</i> yang kadaluarsa dapat digunakan sebagai inhibitor korosi.</li><li>2. Dengan efisiensi inhibitor <i>carbamazepine</i> terhadap baja karbon pada larutan <math>H_2SO_4</math> 0.1 M sebesar 90 %.</li><li>3. Sedangkan efisiensi dengan material yang sama pada buffer <math>CH_3COONa</math> 0.25 M senilai 85%.</li></ol>
---------------------------------------	---	---



**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir**





**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian.

### 3.2 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal dan informasi dari penelitian sebelumnya yang telah mempelajari mengenai inhibitor korosi, khususnya penelitian yang menggunakan inhibitor komersial berbasis imidazoline serta inhibitor obat parasetamol dengan menggunakan pH, fraksi volume inhibitor dan kecepatan putar sebagai variabel bebas. Manfaat dilakukanya penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi inhibitor dan melakukan evaluasi terhadap penelitian sebelumnya serta memberikan gambaran pada pelaku industri mengenai efektivitas dari inhibitor campuran imidazoline dan parasetamol.



## **2. Eksperimen**

Metode ini dilakukan dengan pengujian sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah weight loss, EIS, Tafel, FTIR dan XRD.

### **3.3 Alat dan Bahan Percobaan**

#### **3.3.1 Alat Percobaan**

Adapun alat – alat yang digunakan dari percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. pH Meter
2. Kertas amplas
3. Timbangan digital
4. Satu set peralatan Rotating Cylinder Electrode (RCE) pada toples kaca
5. RPM meter
6. Mikropipet 10  $\mu$ l – 100  $\mu$ l
7. Gelas beaker 1000 ml
8. Gelas beaker 500 ml
9. Tabung gas CO<sub>2</sub>
10. Selang gas CO<sub>2</sub>
11. Teflon
12. Lem Dextone
13. Plastisin
14. Mesin bor
15. Mata bor

#### **3.3.2 Bahan Percobaan**

Bahan – bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. Baja ST 41
2. Garam NaCl
3. Aquades
4. Gas CO<sub>2</sub>
5. Inhibitor berbasis Imidazoline
6. Inhibitor parasetamol

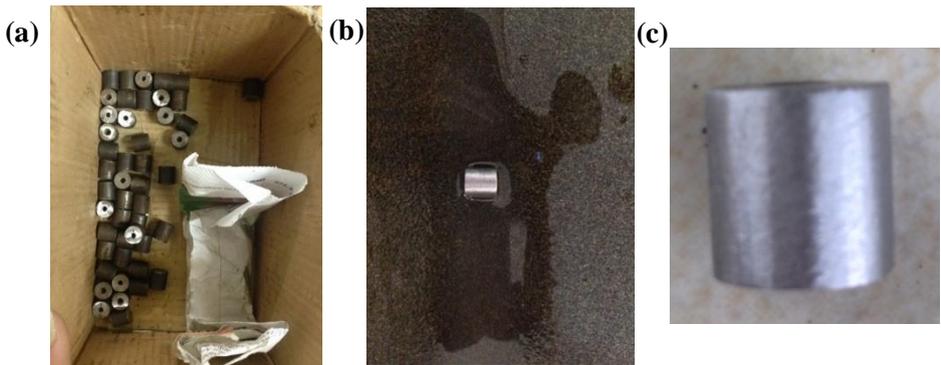


7. Larutan  $\text{NaHCO}_3$

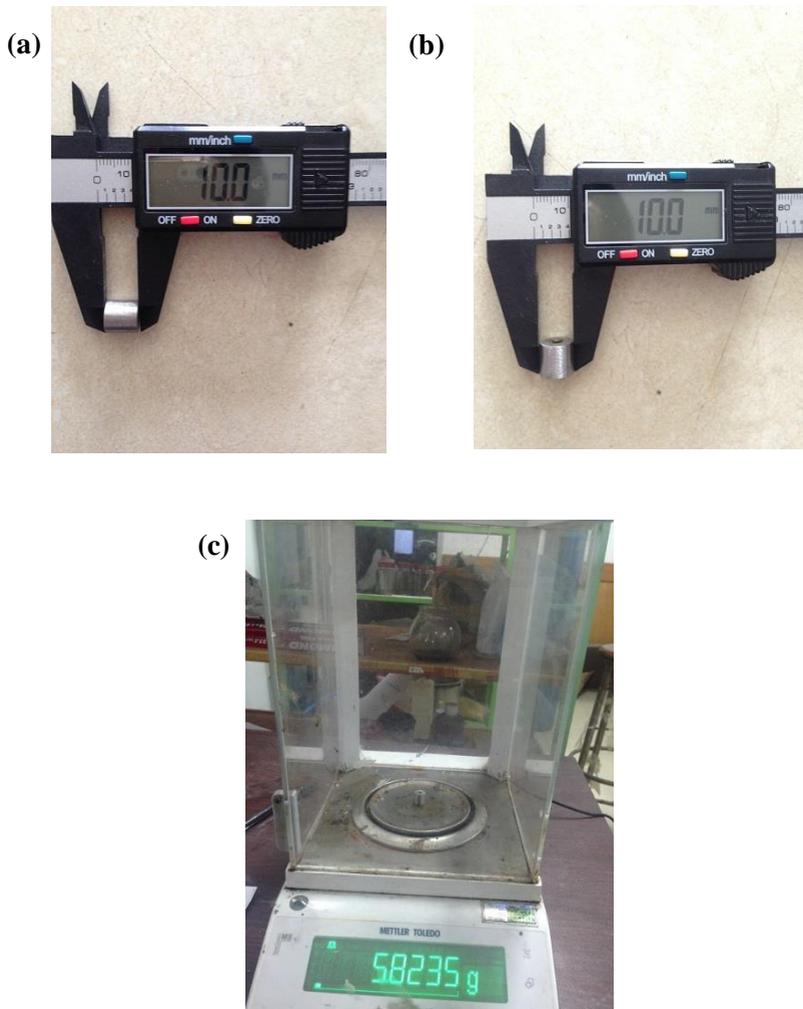
**3.4 Prosedur Penelitian**

**3.4.1 Preparasi Spesimen Uji**

Spesimen uji yang akan digunakan pada penelitian ini adalah baja ST 41 dengan diameter 1 cm dan tinggi sampel 1 cm, dengan bentuk silinder berlubang. Sampel diampelas dahulu dengan kertas ampelas grade 80 untuk menghilangkan lapisan produk korosi berupa besi oksida yang terdapat pada permukaan yang berpotensi mengganggu proses perhitungan laju korosi. Setelah diampelas, sampel di pasang pada RCE (*Rotating Cylinder Electrode*), kemudian tutup bagian poros RCE yang tidak tertutup dengan sampel menggunakan teflon untuk menghindarkan poros kontak dengan elektrolit agar tidak ikut terkorosi.



**Gambar 3. 2** (a) Sampel baja ST 41 sebelum pengamplasan (b) proses pengamplasan spesimen (c) sampel baja ST 41 setelah pengamplasan



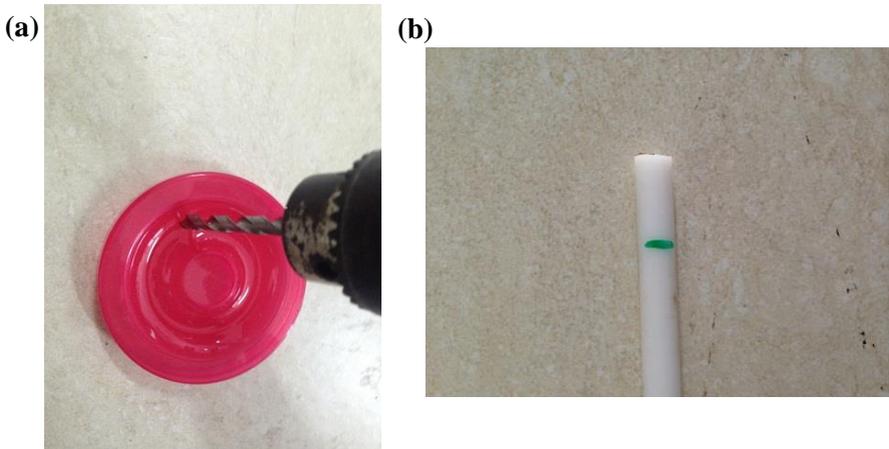
**Gambar 3.3** (a) Pengukuran tinggi sampel (b) Pengukuran diameter sampel (c) Proses penimbangan berat awal sampel



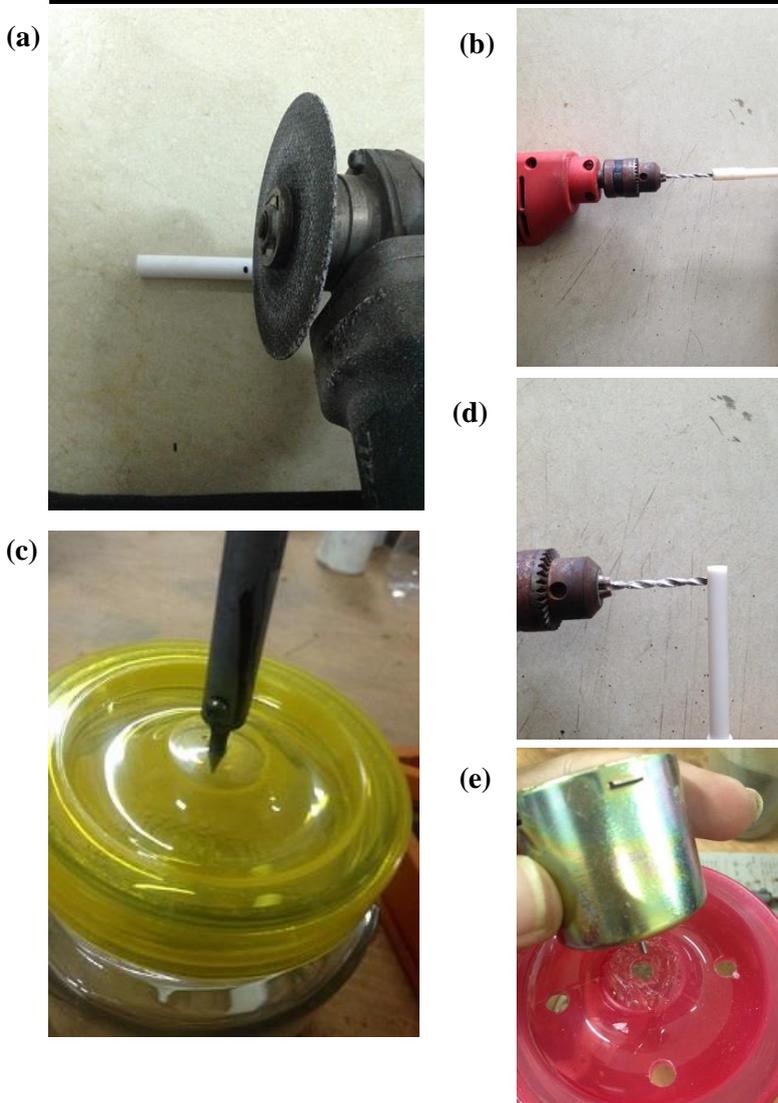
### **3.4.2 Preparasi Alat**

Alat yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah *Rotating Cylinder Electrode (RCE)*, alat ini terdiri dari dinamo yang dipasang pada bagian atas tutup toples untuk memberikan putaran pada poros, lalu potensiometer untuk memberikan hambatan agar putaran dapat disesuaikan agar konstan serta sesuai dengan rencana 150 RPM dan 250 RPM, pada poros yang berputar kemudian dipasang teflon silinder yang di beri lubang pada porosnya agar bisa terpasang, kemudian spesimen baja ST 41 dipasangkan di poros, kemudian di ujung poros juga diberikan teflon untuk mengunci poros sehingga putaran menjadi stabil dan spesimen tidak lepas. Pemberian teflon dimaksudkan untuk melindungi permukaan poros agar tidak bersentuhan langsung dengan larutan elektrolit sehingga poros tidak ikut terkorosi.

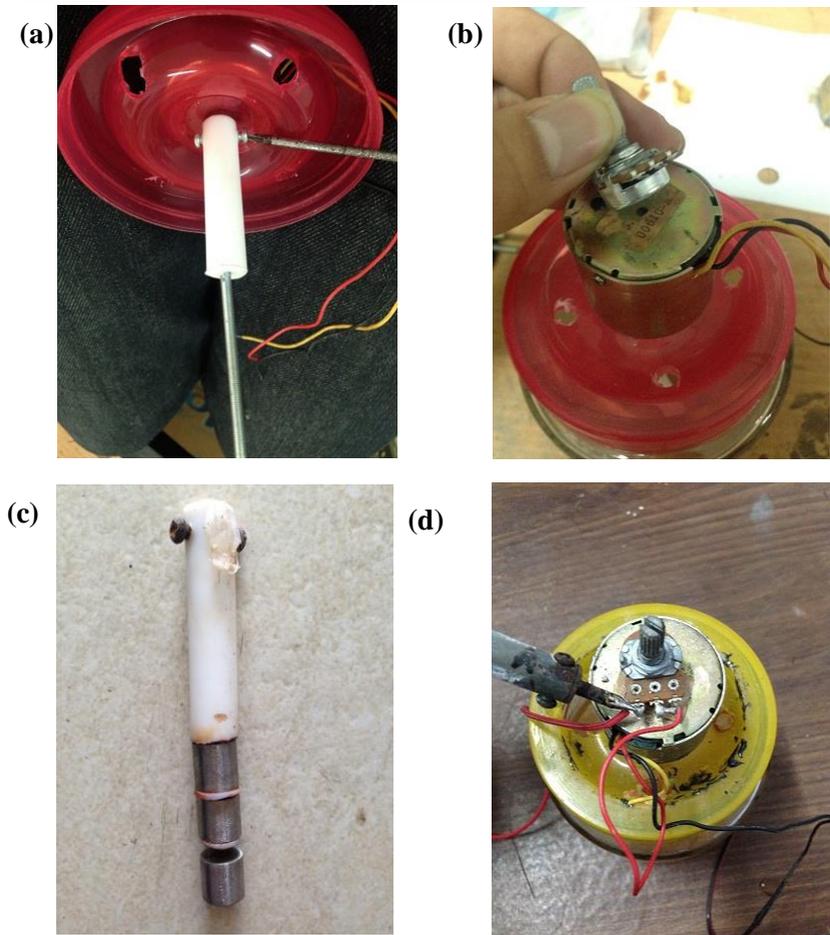
Setelah semua terpasang, kabel dari dinamo disambungkan dengan regulator tegangan untuk mengatur tegangan yang keluar dari aliran listrik PLN. Sehingga, pengujian weight loss dapat dilakukan selama 10 hari



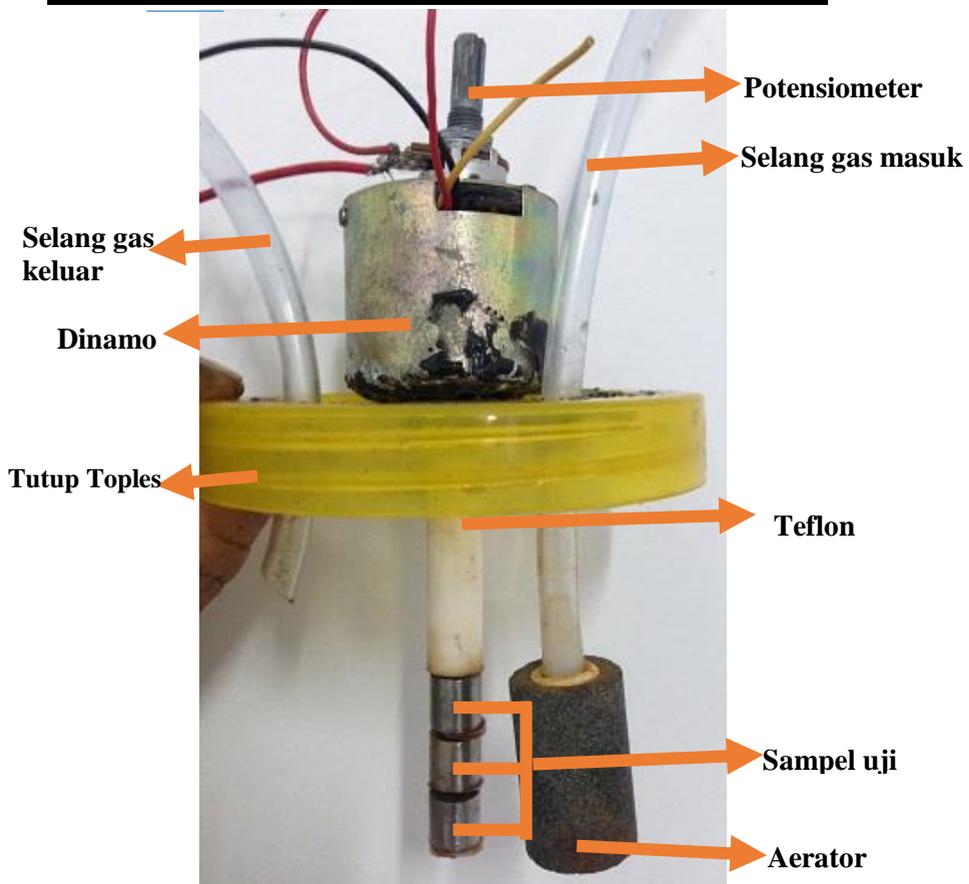
**Gambar 3. 4** (a) Pengeboran tutup toples (b) Pengukuran panjang teflon



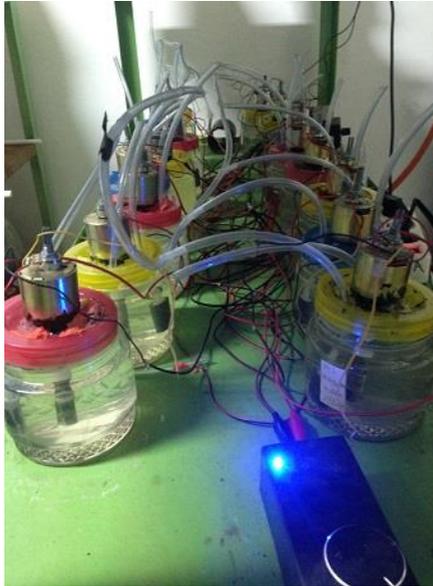
**Gambar 3. 5** (a) proses cutting teflon (b) Pengeboran poros teflon (c) Melubangi tutup toples dengan solder (d) pengeboran untuk sekrup pemasangan dinamo pada tutup toples



**Gambar 3. 6** (a) Pemasangan sekrup pada teflon (b) Pemasangan potensiometer pada dinamo (c) Pemasangan spesimen uji pada poros putar (d) Proses solder dan merangkai



**Gambar 3. 7** Bentuk alat Rotating Cylinder Electrode (RCE)



**Gambar 3. 8** Proses pengujian.

### **3.4.3 Larutan NaCl 3.5 %**

Pada penelitian ini, larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan NaCl 3,5 % sebanyak 500 ml. Langkah-langkah pembuatan larutan NaCl 3,5 % 500 ml adalah sebagai berikut:

1. Timbang garam NaCl sebanyak 17,5 gram dengan menggunakan timbangan digital.
2. Tuangkan garam NaCl ke dalam gelas beaker.
3. Isi gelas beaker dengan aquades sampai volume 500 ml.
4. Aduk larutan garam NaCl agar didapatkan larutan yang homogen dan garam NaCl dapat larut dengan sempurna.
5. Tambahkan aquades sampai larutan mencapai 500 ml.
6. Larutan siap digunakan.



**Gambar 3. 9** Penimbangan berat NaCl untuk pembuatan larutan

#### **3.4.4 Penambahan Inhibitor Korosi Campuran Imidazoline dan Parasetamol**

Penambahan inhibitor korosi campuran berbasis *imidazoline* dan parasetamol dilakukan pada larutan NaCl 3,5 % 500 ml dengan konsentrasi inhibitor secara berturut – turut adalah 100 ppm (*imidazoline*) : 200 ppm (parasetamol), 150 ppm : 150 ppm dan 200 ppm : 100 ppm sehingga, volume inhibitor korosi campuran yang ditambahkan ke dalam larutan NaCl 3,5 % 500 ml adalah sebesar 0,05 ml + 0,1 ml; 0,075 ml + 0,075 ml dan 0,1 ml + 0,05 ml. Kemudian dilakukan pengadukan sampai inhibitor larut dengan sempurna.



**Gambar 3. 10** (a) inhibitor imidazoline (b) inhibitor parasetamol  
(c) mikropipet 10 – 100  $\mu$ l (d) proses penambahan inhibitor  
imidazoline dan parasetamol dengan mikropipet.

### 3.5 Pengujian Pada Percobaan

#### 3.5.1 Metode Weight Loss

Pengujian laju korosi dengan menggunakan metode weight loss dilakukan untuk mengetahui laju korosi baja ST 41 pada lingkungan larutan NaCl 3,5 % dengan penambahan gas CO<sub>2</sub> dan kecepatan putar. Spesimen baja yang berbentuk silinder



dilakukan pemotongan agar mencapai luas kontak dengan elektrolit sebesar  $3,14 \text{ cm}^2$ . Sampel yang digunakan pada pengujian ini adalah sebanyak 48 sampel. Sampel harus terendam oleh larutan elektrolit agar mendapatkan laju korosi yang maksimal. Langkah-langkah dalam pengujian dengan metode weight loss dengan penambahan inhibitor korosi *imidazoline* adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan sampel baja ST 41 yang telah diampelas untuk menghilangkan lapisan oksida yang menutupi permukaan sampel.
2. Menimbang berat awal sampel dengan menggunakan timbangan digital
3. Merangkai sampel baja ST 41 dengan material teflon
4. Memasang rangkaian sampel dan teflon pada RCE
5. Mengisi toples dengan menggunakan larutan NaCl 3,5 % dan inhibitor korosi *imidazoline* kemudian ditutup
6. Menambahkan gas  $\text{CO}_2$  dari tabung gas  $\text{CO}_2$  dan tunggu hingga jenuh pada pH 3,7.
7. Menambahkan larutan  $\text{NaHCO}_3$  untuk meningkatkan pH larutan menjadi pH 4 dan pH 6.
8. Menjalankan RCE sesuai dengan kecepatan yang telah direncanakan yaitu 150 RPM dan 250 RPM
9. Tutup lubang untuk penambahan larutan  $\text{NaHCO}_3$  dengan menggunakan plastisin.
10. Menunggu perendaman sampel selama 10 hari dan kemudian dilakukan penimbangan berat akhir sampel dengan menggunakan timbangan digital.



**Tabel 3. 1** Rancangan Data Hasil Uji Weight Loss

pH	Konsentrasi Campuran Inhibitor <i>Imidazoline</i> : <i>Parasetamol</i> (ppm : ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Efisiensi (%)
4	0	150					
	100 : 200						
	150 : 150						
	200 : 100						
	0	250					
	100 : 200						
	150 : 150						
	200 : 100						
6	0	150					
	100 : 200						
	150 : 150						
	200 : 100						
	0	250					
	100 : 200						
	150 : 150						
	200 : 100						

### 3.5.2 Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy

Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) dilakukan untuk mengetahui tahanan terhadap korosi yang disebabkan oleh adanya penambahan inhibitor campuran *imidazoline* dan *paracetamol* Sampel yang digunakan dalam pengujian EIS adalah sampel yang diberikan kecepatan putar 250 RPM, pH 4, rasio volume inhibitor 2 (imidazoline) : 1 (parasetamol) dan sampel pada kecepatan putar 150 RPM, pH 6, rasio volume inhibitor 2 : 1 Langkah-langkah Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) adalah sebagai berikut :



1. Pada pengujian Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), sampel yang digunakan sama dengan sampel pada pengujian weight loss.
2. Spesimen dilakukan pencelupan pada larutan NaCl 3,5 % ditambah gas CO<sub>2</sub> dan larutan NaHCO<sub>3</sub> agar mencapai dengan sampel sesuai dengan tabel 3.3
3. Setelah perendaman selama 10 hari, spesimen diangkat dari toples untuk dilakukan pengujian EIS.

**Tabel 3. 2 Rancangan Data Hasil Uji EIS**

pH	Konsentrasi inhibitor (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	Rs (Ω)	Rp (Ω)	Rp (Ω)	CPE	CPE

### 3.5.3 Pengujian Polarisasi (Tafel)

Pengujian polarisasi (tafel) dilakukan untuk mengetahui laju korosi sampel dengan berbagai konsentrasi inhibitor campuran berbasis *imidazoline* dan parasetamol secara langsung. Kemudian hasil dilakukan ekstrapolasi dengan teknik tafel untuk memperoleh besaran-besaran yang berkaitan dengan korosi. Hasil yang didapat berupa potensial korosi ( $E_{corr}$ ), rapat arus ( $I_{corr}$ ) dan laju korosi. Sampel yang digunakan pada pengujian polarisasi ini terdapat pada tabel Langkah-langkah dalam pengujian polarisasi (tafel) adalah sebagai berikut :

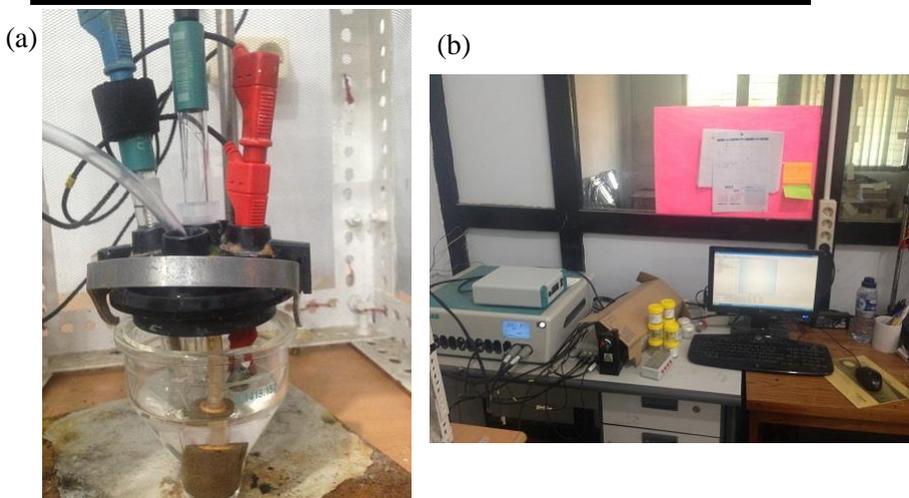
1. Menyiapkan larutan NaCl 3,5 % dengan penambahan inhibitor pada konsentrasi sesuai dengan rancangan tabel 3.4
2. Pasang sampel baja ST 41 pada RCE sebagai elektroda kerja dan tutup bagian lainnya dengan menggunakan teflon
3. Masukkan gas CO<sub>2</sub> pada sel polarisasi dan ditunggu sekitar 15 menit sampai larutan jenuh akan gas CO<sub>2</sub>
4. Ukur pH larutan NaCl 3,5 % yang telah diinjeksikan gas CO<sub>2</sub> dengan menggunakan pH meter, sehingga menunjukkan pH 4 dan pH 6



5. Hidupkan rotator dengan kecepatan putar 250 RPM dan 150 RPM
6. Menunggu perendaman sampel selama 10 hari
7. Melakukan pengujian polarisasi dengan menyusun rangkaian sesuai dengan standar pengujian polarisasi, yaitu specimen holder, elektroda kerja (ST 41), elektroda standard kalomel (Ag/AgCl) dan elektroda bantu platina pada rangkaian sel polarisasi.
8. Melakukan ekstrapolasi dengan teknik tafel untuk mendapatkan parameter yang sudah direncanakan.

**Tabel 3. 3** Rancangan Data Hasil Uji Polarisasi

pH	Konsentrasi inhibitor (ppm)	Kecepatan putar (RPM)	$-E_{\text{corr}}$ (mV)	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	CR (mm/year)	Efisiensi Inhibitor (%)
4	0	250				
	200 : 100					
6	0	150				
	200 : 100					



**Gambar 3. 11** (a) Rangkaian uji polarisasi dan EIS (b) satu set potensiostat Metrohm Autolab dan komputer.

**Tabel 3. 4** Parameter pengujian polarisasi linear.

<i>Working Electrode</i>	Baja ST 41
<i>Equivalent Weight (g/mol)</i>	27,925
<i>Density (g/cm<sup>3</sup>)</i>	7,86
Luasan Terekspos (cm <sup>2</sup> )	2,577
<i>Counter Electrode</i>	Pt (Platina)
<i>Reference Electrode</i>	Ag/AgCl
<i>Scan Rate</i>	0,001 V/s
<i>Start Potential</i>	-0,1 V vs OCP
<i>Finish Potential</i>	+0,1 V vs OCP



### 3.5.4 Pengujian *Fourier Transformation Infrared* (FTIR)

Pengujian spektroskopi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada inhibitor campuran berbasis imidazoline dan parasetamol. Pengujian FTIR dilakukan pada inhibitor imidazoline dan parasetamol yang belum diberikan pada larutan elektrolit dan inhibitor setelah dilakukan pengujian selama 10 hari dengan menggunakan konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm pada pH 6 dengan kecepatan putar 150 RPM. Sehingga, akan didapat data gugus fungsi inhibitor *imidazoline* dan parasetamol sebelum dilakukan pengujian dan digunakan untuk melihat gugus fungsi yang terkandung dalam lapisan permukaan sampel setelah selesai pengujian.

### 3.5.5 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk menganalisis adanya kemungkinan senyawa produk korosi maupun hasil reaksi dari pemberian inhibitor yang terbentuk pada sampel hasil pengujian. Pengujian XRD dilakukan pada sampel yang diberikan inhibitor korosi campuran *Imidazoline* dan parasetamol pada pH 6 dan kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi 100 ppm : 200 ppm, 150 ppm : 150 ppm, dan 200 ppm : 100 ppm.



**Gambar 3. 12** Instrumen pengujian XRD Panalytical.



**Tabel 3. 5** Rancangan Pengujian Keseluruhan

pH	Konsentrasi Campuran Inhibitor Imidazoline : Parasetamol (ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	Weight Loss	EIS	XRD	Tafel	FTIR
4	0	150	✓	-	-	-	-
	100 : 200		✓	-	-	-	-
	150 : 150		✓	-	-	-	-
	200 : 100		✓	-	-	-	-
	0	250	✓	✓	-	✓	-
	100 : 200		✓	-	-	-	-
	150 : 150		✓	-	-	-	-
	200 : 100		✓	✓	-	✓	-
6	0	150	✓	✓	-	✓	-
	100 : 200		✓	-	✓	-	-
	150 : 150		✓	-	-	-	-
	200 : 100		✓	✓	✓	✓	✓
	0	250	✓	-	-	-	-
	100 : 200		✓	-	-	-	-
	150 : 150		✓	-	-	-	-
	200 : 100		✓	-	-	-	-



## BAB IV

### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Data

##### 4.1.1 Perhitungan Bilangan Reynold dan *Wall Shear Stress*

Perhitungan bilangan reynold dilakukan untuk mengetahui jenis atau profil aliran yang terbentuk pada saat pengujian dilakukan. Pada penelitian ini sampel diberi kecepatan putar sebesar 150 RPM dan 250 RPM pada *Rotating Cylinder Electrode* (RCE). Nilai kecepatan putar tersebut lalu dilakukan perhitungan untuk mengetahui bilangan reynold dengan persamaan 2.13, 2.14 dan 2.15

**Tabel 4. 1** Nilai bilangan reynold dan wall shear stress pada tiap kecepatan putar

No	Kecepatan Putar (RPM)	Kecepatan Putar (cm/s)	Bilangan Reynold	<i>Wall Shear Stress</i>
1	150	7,854	526,569	0,759
2	250	13,089	878,061	1,808

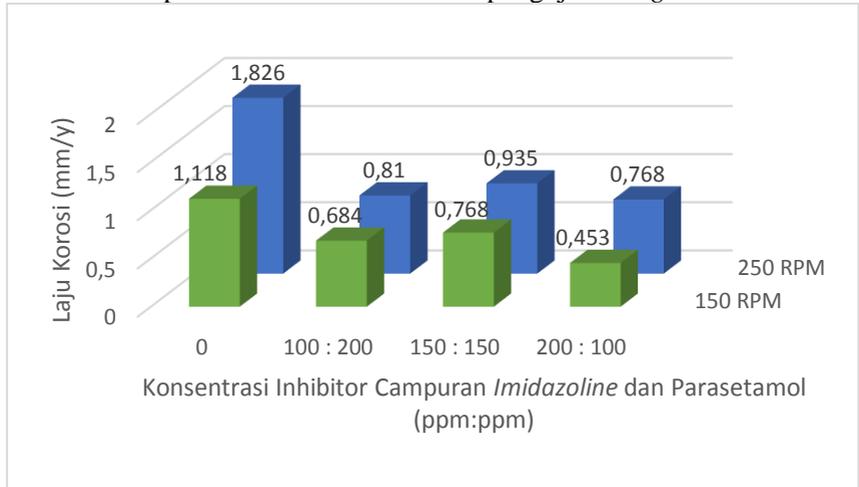
Dari hasil perhitungan, didapatkan hasil bahwa aliran yang terbentuk pada penelitian ini dengan menggunakan RCE adalah aliran laminar. Dikarenakan nilai bilangan reynold dibawah 2100, dengan nilai *wall shear stress* pada kecepatan putar 150 RPM dan 250 RPM secara berturut – turut adalah 0,759 dan 1,808.

Dari tabel 4.1, dapat diketahui dengan bertambahnya kecepatan putar meningkatkan nilai *wall shear stress*. Sehingga, naiknya kecepatan putar semakin meningkatkan laju penggerusan produk korosi maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor korosi yang berakibat meningkatnya laju korosi. (PINE Reasearch Instrument, 2006).



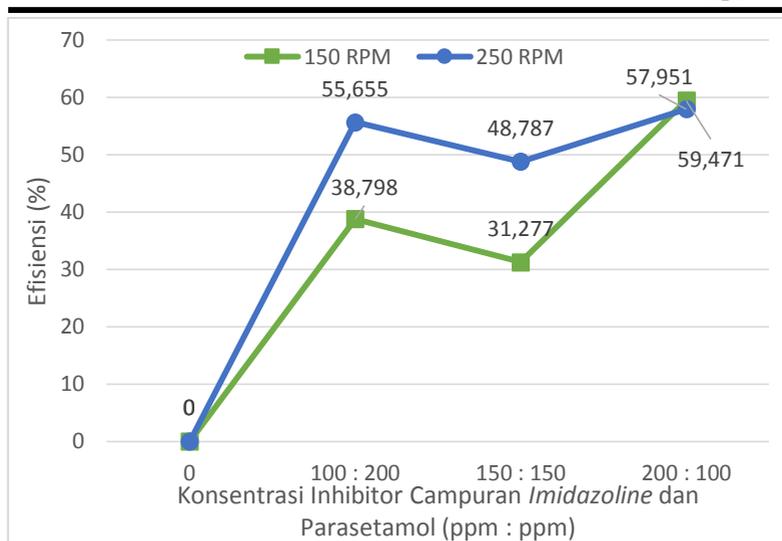
#### 4.1.2 Pengujian Pengurangan Berat (*Weight Loss*)

Pengujian *weight loss* dilakukan selama sepuluh hari dengan variabel bebas kecepatan putar, pH larutan, dan rasio volume inhibitor campuran. Berikut adalah hasil pengujian *weight loss*



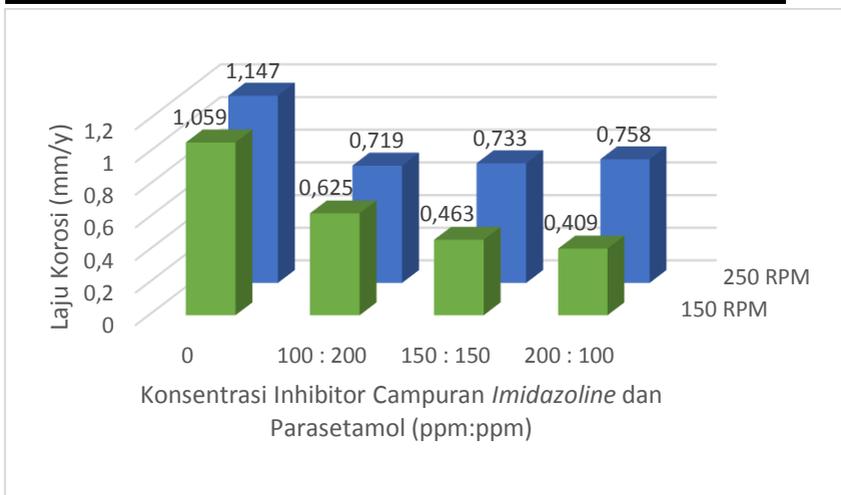
**Gambar 4. 1** Pengaruh konsentrasi inhibitor campuran dan kecepatan putar terhadap laju korosi baja ST 41 pada pH 4

Gambar 4.1 ditunjukkan data laju korosi pada berbagai konsentrasi inhibitor campuran dengan kecepatan putar 150 RPM dan 250 RPM. Terjadi penurunan laju korosi pada penambahan konsentrasi inhibitor 100 ppm (*imidazoline*) : 200 ppm (parasetamol), lalu terjadi peningkatan pada konsentrasi 150 ppm : 150 ppm, kemudian laju korosi mengalami penurunan pada konsentrasi 200 ppm : 100 ppm. Terhadap penambahan konsentrasi *imidazoline*, laju korosi mengalami penurunan pada 100 ppm, lalu terjadi peningkatan pada konsentrasi 150 ppm, dan kembali turun pada konsentrasi 200 ppm, dengan peningkatan konsentrasi inhibitor *imidazoline* terjadi tren yang berbeda, terjadi penurunan dan kenaikan laju korosi. Peningkatan kecepatan putar diikuti dengan peningkatan laju korosi. Nilai laju korosi yang terendah adalah pada pemberian konsentrasi inhibitor sebesar 100 ppm : 200 ppm, pada kecepatan putar 150 RPM yaitu senilai 0,453 mm/year.



**Gambar 4. 2** Pengaruh penambahan konsentrasi dan kecepatan putar terhadap efisiensi inhibitor korosi campuran pada pH 4

Gambar 4.2 menunjukkan tren efisiensi inhibitor campuran pada berbagai konsentrasi dan variasi kecepatan putar. Nilai efisiensi inhibitor campuran yang tertinggi terdapat pada sampel baja ST 41 dengan konsentrasi 200 ppm (*imidazoline*) : 100 ppm (*parasetamol*), kecepatan putar 150 RPM senilai 59,471 %.

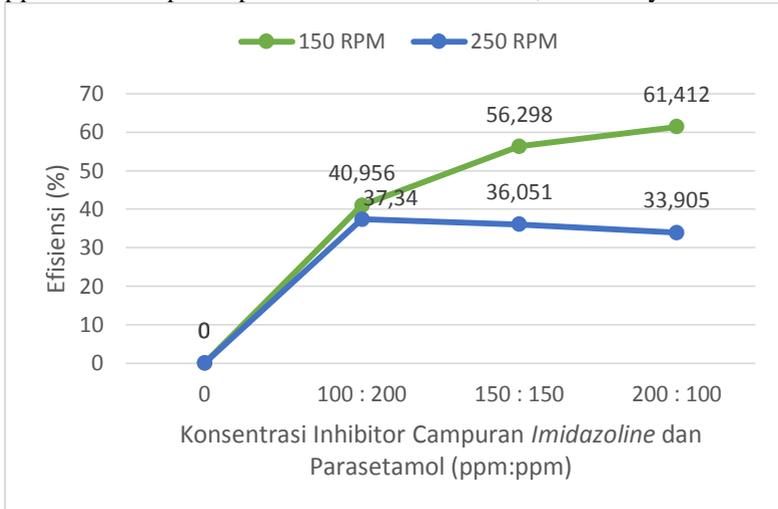


**Gambar 4. 3** Pengaruh konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar terhadap laju korosi baja ST 41 pada pH 6

Dari gambar 4.3 ditunjukkan data laju korosi pada berbagai konsentrasi inhibitor campuran dengan kecepatan putar 150 RPM dan 250 RPM. Pada kecepatan putar 150 RPM, dengan bertambahnya pemberian inhibitor korosi *imidazoline* terjadi penurunan laju korosi pada sampel baja ST 41. Sedangkan pada kecepatan putar 250 RPM, terjadi penurunan nilai laju korosi pada konsentrasi inhibitor 100 ppm (*imidazoline*) : 200 ppm (parasetamol), pada konsentrasi 150 ppm : 150 ppm, laju korosi terus mengalami peningkatan sampai konsentrasi 200 ppm : 100 ppm. Pada kecepatan putar 250 RPM, dengan adanya penambahan konsentrasi *imidazoline* laju korosi mengalami penurunan pada konsentrasi 100 ppm, kemudian terjadi peningkatan sampai penambahan *imidazoline* 200 ppm, lalu pada kecepatan putar 150 RPM nilai laju korosi mengalami penurunan yang diikuti dengan penambahan konsentrasi *imidazoline* hingga konsentrasi 200 ppm. Maka terhadap peningkatan konsentrasi inhibitor *imidazoline* terjadi tren yang berbeda, dimana terdapat penurunan dan kenaikan laju korosi. Peningkatan kecepatan putar diikuti dengan peningkatan laju korosi. Nilai laju korosi yang terendah terdapat

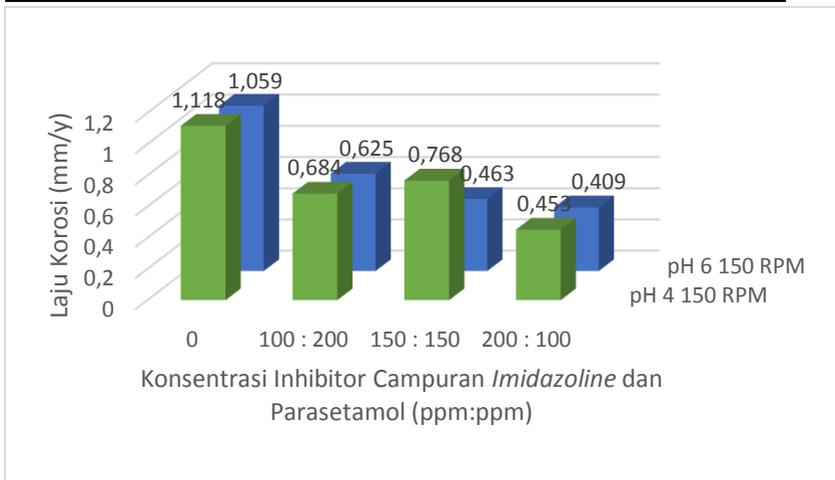


pada sampel baja ST 41 dengan rasio volume inhibitor 200 : 100 ppm dan kecepatan putar 150 RPM sebesar 0,409 mm/year.



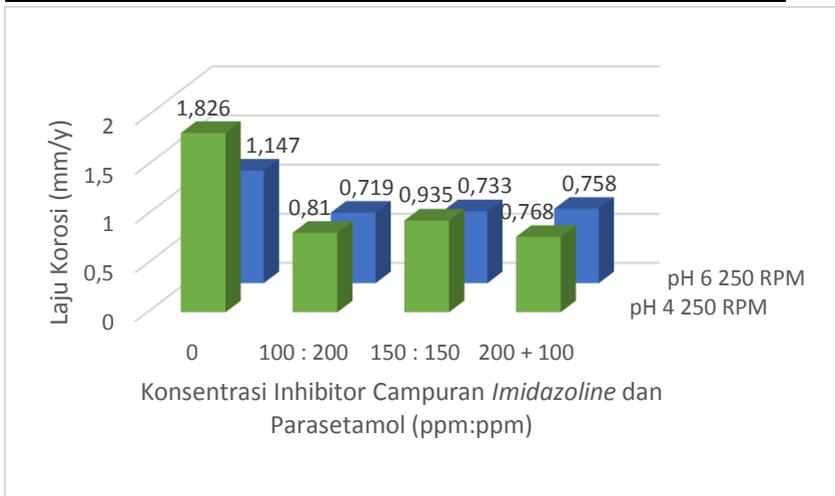
**Gambar 4. 4** Pengaruh konsentrasi dan kecepatan putar terhadap efisiensi inhibitor korosi pada pH 6

Gambar 4.4 Menunjukkan tren efisiensi inhibitor campuran pada berbagai konsentrasi dan variasi kecepatan putar .Nilai efisiensi inihibitor tertinggi adalah pada sampel yang diberikan kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor 200 ppm (*imidazoline*) : 100 ppm (parasetamol) sebesar 61,412 %



**Gambar 4. 5** Pengaruh pH terhadap laju korosi baja ST 41 dengan kecepatan putar 150 RPM dan berbagai rasio volume inhibitor

Gambar 4.5 menunjukkan data laju korosi pada pH yang berbeda di berbagai konsentrasi inhibitor dengan kecepatan putar 150 RPM. Dari hasil penelitian, didapatkan hasil bahwa peningkatan nilai pH diikuti penurunan laju korosi pada sampel baja ST 41. Dengan nilai laju korosi terendah adalah sampel pada konsentrasi inhibitor 200 ppm (*imidazoline*) : 100 ppm (parasetamol) pada pH 6 sebesar 0,409 mm/year.



**Gambar 4. 6** Pengaruh pH terhadap laju korosi baja ST 41 dengan kecepatan putar 250 RPM dan berbagai rasio volume inhibitor

Gambar 4.6 menunjukkan data laju korosi pada pH yang berbeda di berbagai konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar 250 RPM. didapatkan hasil bahwa hasil bahwa peningkatan nilai pH diikuti penurunan laju korosi pada sampel baja ST 41. Dengan nilai laju korosi terendah adalah sampel pada konsentrasi inhibitor 100 ppm (*imidazoline*) : 200 ppm (parasetamol) pada pH 6 sebesar 0,719 mm/year.

#### 4.1.3 Perhitungan Adsorpsi Isoterm

Perhitungan adsorpsi isoterm dilakukan untuk mengetahui interaksi antara inhibitor korosi dan permukaan sampel baja ST 41. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan teori adsorpsi isoterm Langmuir seperti pada persamaan 2.15, 2.16 dan 2.17. Kemudian dari hasil perhitungan adsorpsi Langmuir diketahui jenis adsorpsi yang terdapat pada permukaan baja, baik secara *chemisorption* atau *physisorption*. Sehingga didapatkan nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{ads}$ ).



Perhitungan dilakukan dengan menggunakan hasil pengujian polarisasi pada tabel 4.4 sebanyak dua sampel uji dan data weight lost sebanyak dua sampel uji.

**Tabel 4. 2** Energi bebas adsorpsi pada inhibitor campuran imidazoline dan parasetamol

pH	Konsentrasi Inhibitor Campuran (ppm : ppm)	Kecapatan Putar (RPM)	Surface Coverage ( $\theta$ )	$K_{ads}$	$\Delta G_{ads}$ (kJ/mol)
4	0	150	0	0	0
	200 : 100		0,594	$4,89 \times 10^{-3}$	3,22968
	200 : 100	250	0,614	$5,31 \times 10^{-3}$	3,02335
6	0	150	0	0	0
	200 : 100		0,581	$4,62 \times 10^{-3}$	3,37079
	200 : 100	250	0,339	$1,71 \times 10^{-3}$	5,83345

Dari tabel 4.2 didapat nilai energi bebas adsorpsi pada pH 4 konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm dengan kecepatan putar 250 RPM adalah 2,01875 KJ/mol dan nilai energi bebas adsorpsi pada pH 6 konsentrasi inhibitor 200 : 100 ppm dengan kecepatan putar 150 RPM senilai -2,36520 KJ/mol. Menurut (Hosseini, 2003), Jika nilai  $\Delta G_{ads}$  lebih positif dari -20 KJ/mol maka proses adsorpsi nya adalah *physisorption*.



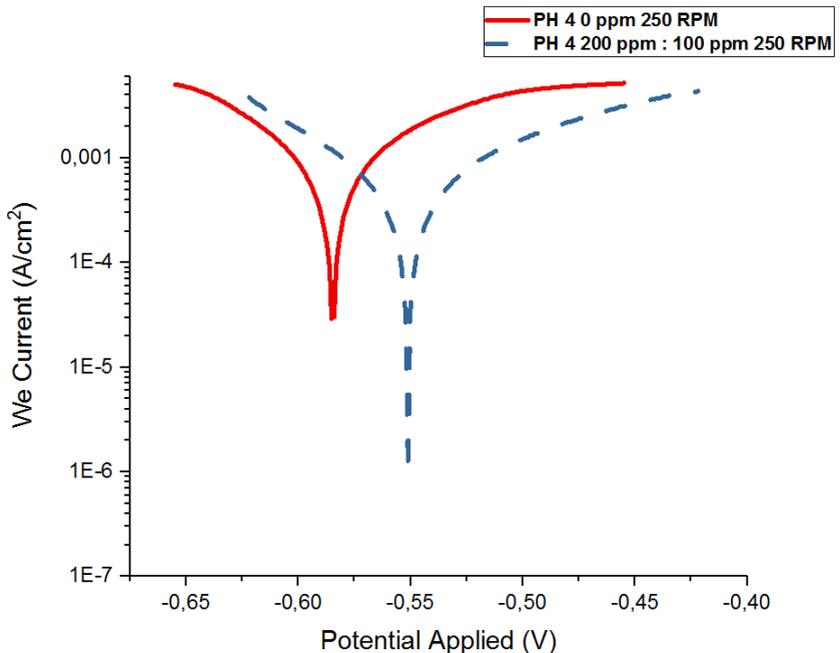
#### 4.1.4 Pengujian Polarisasi Linear (Tafel)

Pengujian polarisasi dilakukan pada sampel yang mempunyai laju korosi terendah pada setiap pH. Terdapat empat sampel untuk dilakukan pengujian polarisasi. Pada pH 4 digunakan sampel dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm : 100 ppm pada kecepatan putar 250 RPM. Lalu pada pH 7 digunakan sampel dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm : 100 ppm pada kecepatan putar 150 RPM, berikut adalah hasil pengujian polarisasi pada tabel 4.5

**Tabel 4. 3** Hasil Pengujian Polarisasi

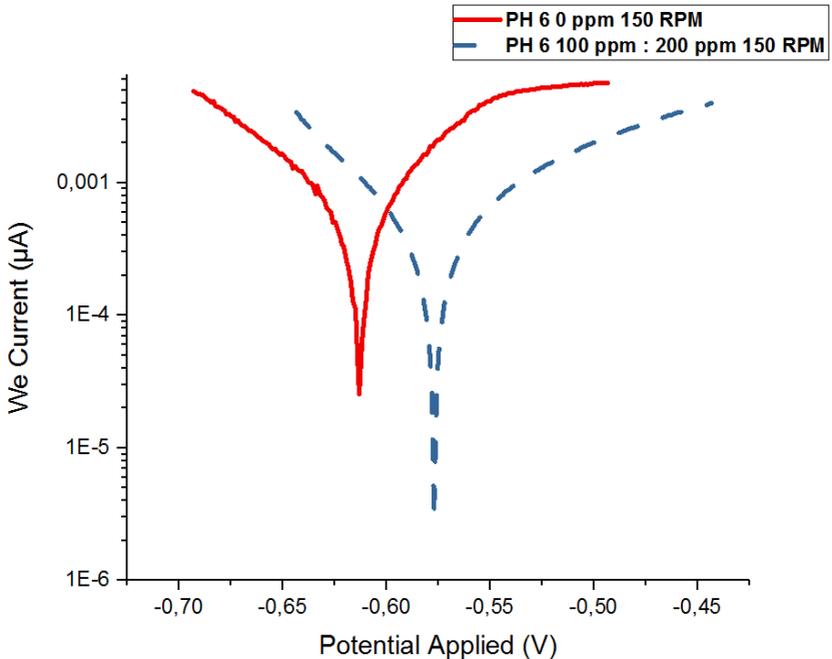
pH	Konsentrasi Inhibitor Campuran (ppm : ppm)	Kecepatan putar (RPM)	$-E_{corr}$ (mV)	$i_{corr}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	CR (mm/year)	Efisiensi Inhibitor (%)
4	0	150	613,150	80,114	0,931	-
	200 : 100		-576,820	33,603	0,390	58,110
6	0	250	584,650	177,140	2,058	-
	200 : 100		551,120	68,289	0,793	61,467

Pada tabel 4.3, didapatkan hasil pengujian polarisasi pada empat sampel dengan berbagai parameter, yang didapat dari hasil pengujian polarisasi yaitu  $E_{corr}$ ,  $i_{corr}$ , dan laju korosi. Berikut adalah hasil pengujian grafik polarisasi tafel dengan tanpa pemberian inhibitor dan dengan pemberian inhibitor.



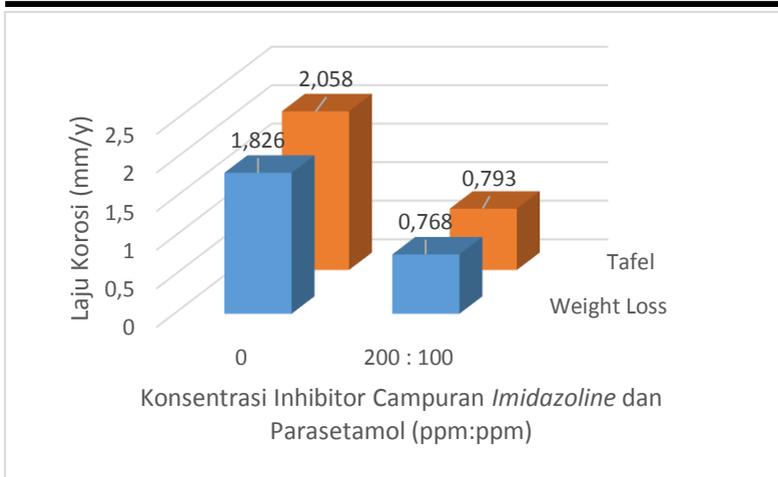
**Gambar 4. 7** Perbandingan hasil pengujian polarisasi pada sampel dengan pH 4

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor yang diberikan, maka menggeser kurva tafel ke arah bawah. Bergesernya kurva tafel dengan pemberian inhibitor korosi ke arah bawah menunjukkan menurunnya nilai  $I_{Corr}$  sehingga laju korosi menurun. Sedangkan bergesernya kurva tafel ke arah kanan setelah diberikan inhibitor, menunjukkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara larutan elektrolit dan sampel uji menjadi lebih anodik. Sehingga reaksi pada sampel uji menjadi lebih dominan bila dibandingkan dengan reaksi pada larutan yang menunjukkan jenis inhibitor anodik yang berinteraksi melalui adsorpsi pada logam.

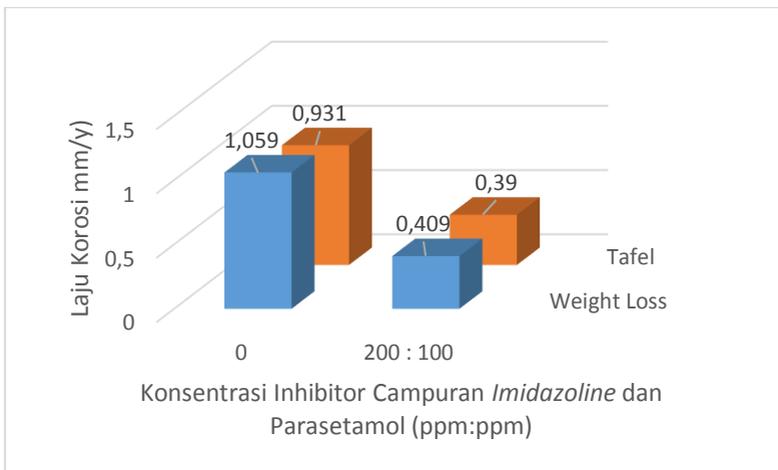


**Gambar 4. 8** Perbandingan hasil pengujian polarisasi pada sampel dengan pH 6

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor korosi yang diberikan, maka menggeser kurva tafel ke arah bawah. Bergesernya kurva tafel ke arah bawah menunjukkan menurunnya nilai dari  $I_{Corr}$  sehingga laju korosi menurun. Bergesernya kurva tafel ke arah kanan setelah diberikan inhibitor korosi menunjukkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara larutan elektrolit dan sampel uji menjadi lebih anodik. Yang berarti reaksi pada sampel uji lebih dominan bila dibandingkan reaksi pada larutan sehingga mengindikasikan jenis inhibitor anodik yang berinteraksi melalui adsorpsi pada logam.



**Gambar 4. 9** Perbandingan hasil pengujian dengan menggunakan metode polarisasi dan weight loss pada sampel dengan perbedaan konsentrasi inhibitor pada pH 4



**Gambar 4. 10** Perbandingan hasil pengujian dengan menggunakan metode polarisasi dan weight loss pada sampel dengan perbedaan konsentrasi inhibitor pada pH 6

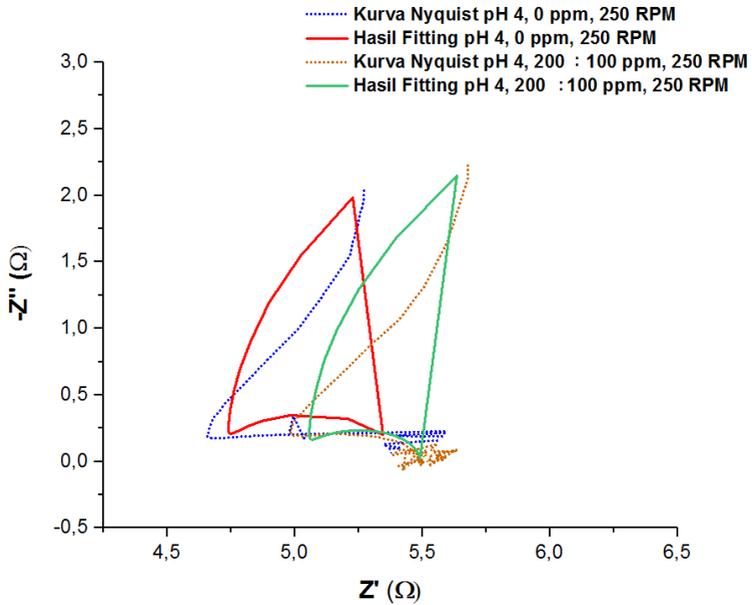


Gambar 4.9 dan 4.10 ditunjukkan data laju korosi dengan pemberian inhibitor campuran *imidazoline* dan parasetamol, pada pengujian *weight loss* maupun polarisasi, nilai laju korosi yang didapat tidak berselisih jauh.

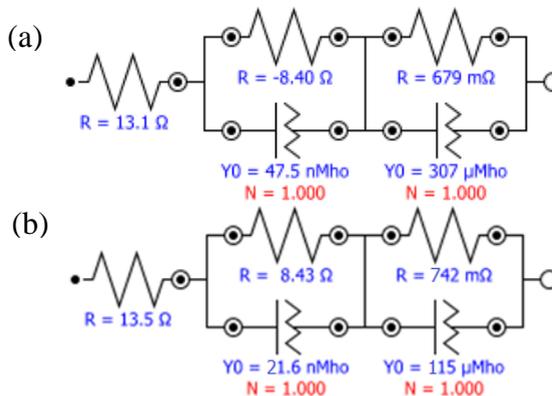
#### **4.1.5 Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)**

Pengujian EIS dilakukan pada sampel pH 4, kecepatan putar 250 RPM dengan konsentrasi inhibitor campuran 0 ppm dan 200 ppm (*imidazoline*) : 100 (parasetamol) ppm. Kemudian pada sampel pH 6, kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi inhibitor campuran 0 ppm dan 200 ppm : 100 ppm.

Hasil dari pengujian EIS dalam bentuk kurva Nyquist. Setelah didapatkan kurva Nyquist, kemudian dilakukan proses *fitting* untuk menghasilkan *equivalent circuit*, pada software NOVA. Kemudian dihasilkan parameter-parameter elektrokimia berupa R (Resistor), C (Capasitor), dan CPE (*Constant Phase Element*).



**Gambar 4. 11** Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 4, kecepatan putar 250 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm (imidazoline) : 100 ppm (parasetamol).



**Gambar 4. 12** Equivalent circuit dari fitting kurva nyquist pH 4, 250 RPM dan konsentrasi (a) 0 ppm (b) 200ppm : 100ppm



Dari hasil *fitting* lalu gambar 4.12 didapatkan beberapa parameter di tabel 4.4

**Tabel 4. 4** Data equivalent circuit pada sampel pH 4

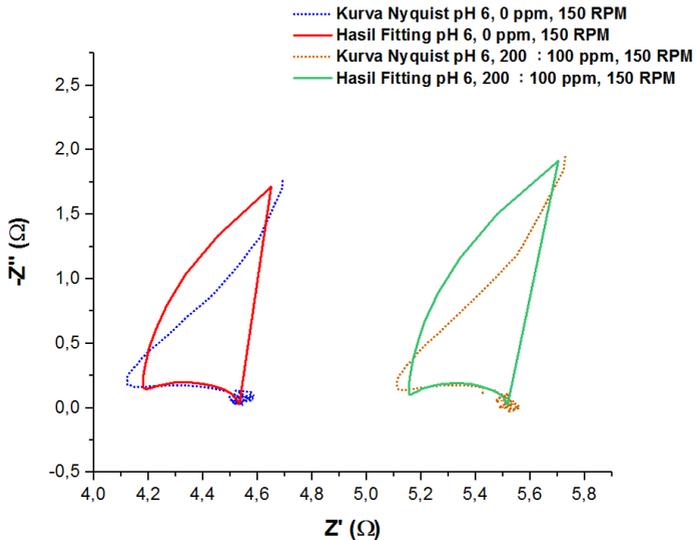
pH	Konsentrasi Inhibitor Campuran (ppm : ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	Rs ( $\Omega$ )	Rp 1 ( $\Omega$ )	Rp 2 ( $\Omega$ )	CPE		CPE	
						Y()	N	Y()	N
4	0	250	13.1	-8,4	0,68	47,5 nMho	1	307 $\mu$ Mho	1
	200 : 100		13,5	8,43	0,74	21,6 nMho	1	115 $\mu$ Mho	1

Dari Gambar 4.11 ditunjukkan adanya peningkatan diameter kurva nyquist, menurut (Yttria, 2014) dimana semakin besar/lebar diameter kurva maka nilai tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ) semakin besar. Nilai  $R_{ct}$  yang tinggi berbanding terbalik dengan nilai laju korosi, sehingga didapatkan laju korosi yang lebih rendah.

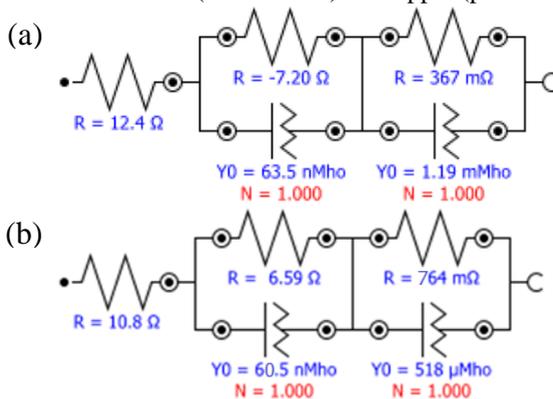
Tabel 4.4, ditunjukkan data *equivalent circuit* pH 4, terdapat peningkatan nilai tahanan larutan ( $R_s$ ) dari 13,1  $\Omega$  menjadi 13,5  $\Omega$  dengan adanya penambahan inhibitor sebesar 200 ppm (*imidazoline*) : 100 ppm (parasetamol) . Terjadi peningkatan nilai tahanan polarisasi ( $R_p$ ) baik pada  $R_p$  pertama maupun kedua dengan adanya penambahan inhibitor, peningkatan nilai tahanan polarisasi diikuti dengan peningkatan efisiensi inhibitor (karthikaiselvi, 2013). Nilai  $R_p$  sebanding dengan nilai tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ). Semakin besar nilai  $R_{ct}$  berhubungan dengan sistem yang terkorosi secara lambat (karthikaiselvi, 2013). Nilai kapasitansi *double layer* ( $C_{dl}$ ) pada rangkaian muncul sebagai CPE yang disebabkan karena permukaan logam yang kasar serta tidak homogen. (Toledo. 2011). Tejadi penurunan nilai CPE karena penurunan konstanta dielektrik lokal dan peningkatan ketebalan *layer* yang teradsorpsi. Penurunan konstanta dielektrik lokal disebabkan dari pemindahan molekul air (dengan konstanta dielektrik tinggi) oleh molekul inhibitor (dengan konstanta



dielektrik rendah) (Inbaraj, 2017) yang berarti molekul inhibitor teradsorpsi pada antarmuka logam (karthikaiselvi, 2013).



**Gambar 4. 13** Kurva Nyquist dan fitting pada sampel pH 6, kecepatan putar 150 RPM dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 200 ppm (imidazoline) : 100 ppm (parasetamol).



**Gambar 4.14** Equivalent circuit dari fitting kurva nyquist pH 6, 150 RPM dan konsentrasi (a) 0 ppm (b) 200ppm : 100 ppm



Dari hasil *fitting* lalu gambar 4.12 didapatkan beberapa parameter di tabel 4.5

**Tabel 4. 5** Data equivalent circuit pada sampel pH 6

pH	Konsentrasi Inhibitor Campuran (ppm : ppm)	Kecepatan Putar (RPM)	Rs ( $\Omega$ )	Rp 1 ( $\Omega$ )	Rp 2 ( $\Omega$ )	CPE		CPE	
						Y()	N	Y()	N
6	0	150	12,4	-7,2	0,367	63,5 nMho	1	1,19 mMho	1
	200 : 100		10,8	6,59	0,764	60,5 nMho	1	518 $\mu$ Mho	1

Gambar 4.13 ditunjukkan adanya peningkatan diameter kurva nyquist, menurut (Yttria, 2014) dimana semakin besar/lebar diameter kurva maka nilai tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ) semakin besar. Nilai  $R_{ct}$  yang tinggi berbanding terbalik dengan nilai laju korosi, sehingga didapatkan laju korosi yang lebih rendah.

Dari tabel 4.5, ditunjukkan data *equivalent circuit* pada pH 6, nilai tahanan larutan ( $R_s$ ) pada larutan pH 6 mengalami penurunan dari 12,4  $\Omega$  menjadi 10,8  $\Omega$ . Nilai tahanan polarisasi ( $R_p$ ) mengalami peningkatan dengan adanya penambahan inhibitor, baik pada  $R_p$  pertama dan kedua. peningkatan nilai tahanan polarisasi diikuti dengan peningkatan efisiensi inhibitor (karthikaiselvi, 2013). Nilai  $R_p$  sebanding dengan tahanan transfer muatan ( $R_{ct}$ ). Semakin besar nilai  $R_{ct}$  berhubungan dengan sistem yang terkorosi secara lambat (karthikaiselvi, 2013). Kemudian, perlindungan lebih baik yang diberikan oleh inhibitor diasosiasikan dengan penurunan nilai kapasitansi dari logam. Nilai kapasitansi *double layer* ( $C_{dl}$ ) pada rangkaian muncul sebagai CPE yang disebabkan permukaan logam yang kasar serta tidak homogen (Toledo,2011). Terjadinya penurunan nilai CPE karena penurunan konstanta dielektrik lokal dan peningkatan ketebalan *layer* yang teradsorpsi. Penurunan konstanta dielektrik lokal disebabkan dari pemindahan molekul air (dengan konstanta dielektrik tinggi) oleh molekul inhibitor (dengan konstanta dielektrik rendah) (Inbaraj,

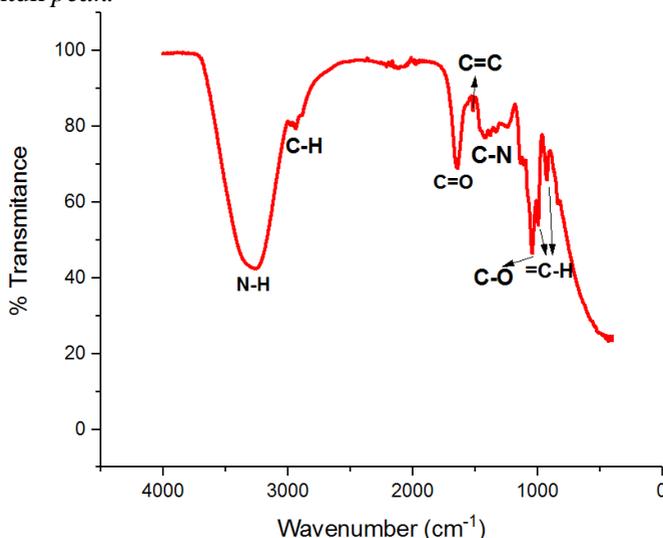


2017) yang berarti molekul inhibitor teradsorpsi pada antarmuka logam (karthikaiselvi, 2013).

#### 4.1.6 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan dengan menggunakan dua sampel. Sampel pertama adalah bahan inhibitor parasetamol dan sampel kedua adalah sampel baja yang telah dilakukan pencelupan selama sepuluh hari dengan pemberian inhibitor campuran *imidazoline* dan parasetamol sebesar 200 ppm : 100 ppm pada pH 6 dengan kecepatan putar sebesar 150 RPM.

Dari hasil pengujian FTIR pada bahan inhibitor korosi, diketahui berbagai ikatan yang terkandung, ditunjukkan dalam bentuk *peak*.



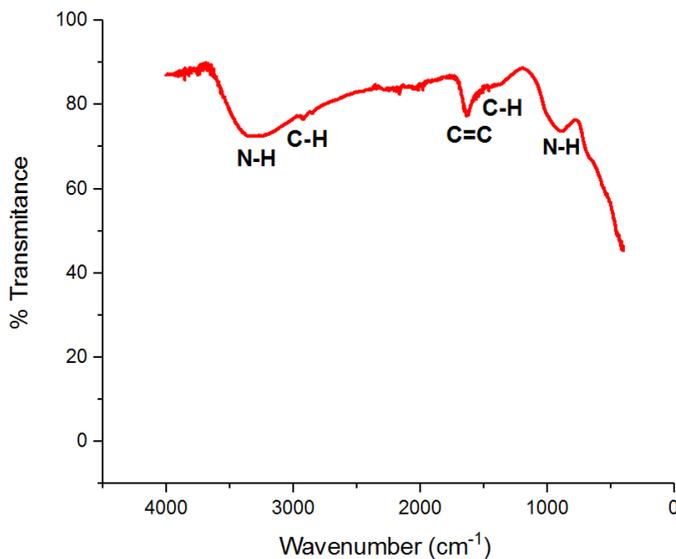
**Gambar 4. 14** Hasil FTIR pada inhibitor parasetamol



**Tabel 4. 6** Hasil Analisa gugus fungsi inhibitor parasetamol

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Range Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan	Gugus Fungsi
3258,50	3400-3250	N-H	<i>Stretch, 1<sup>o</sup>,2<sup>o</sup> Amines</i>
2970,98	3000-2850	C-H	<i>Alkane</i>
2932,98	3000-2850	C-H	<i>Alkane</i>
1640,20	1820-1630	C=O	<i>Carbonyl</i>
1514,57	1600-1400	C=C	<i>Aromatic</i>
1327,70	1360-1080	C-N	<i>Amine</i>
1239,05	1360-1080	C-N	<i>Amine</i>
1040,50	1300-1000	C-O	<i>Ether</i>
991,92	1000-675	=C-H	<i>Alkene</i>
923,18	1000-675	=C-H	<i>Alkene</i>

Hasil analisis FTIR dari tabel 4.6, pada bahan inhibitor parasetamol dari gambar 4.14, terdapat beberapa gugus fungsi yang sesuai dengan struktur molekul dari inhibitor parasetamol pada gambar 2.20, gugus fungsi tersebut adalah *amine* yang termasuk dalam senyawa fenol (N-H) , selanjutnya ikatan (C-H) yang merupakan senyawa alkana dengan intensitas rendah, ikatan senyawa aromatik (C=C), alkane (-C-H), serta ikatan (C-N) yang juga merupakan senyawa *amine*.

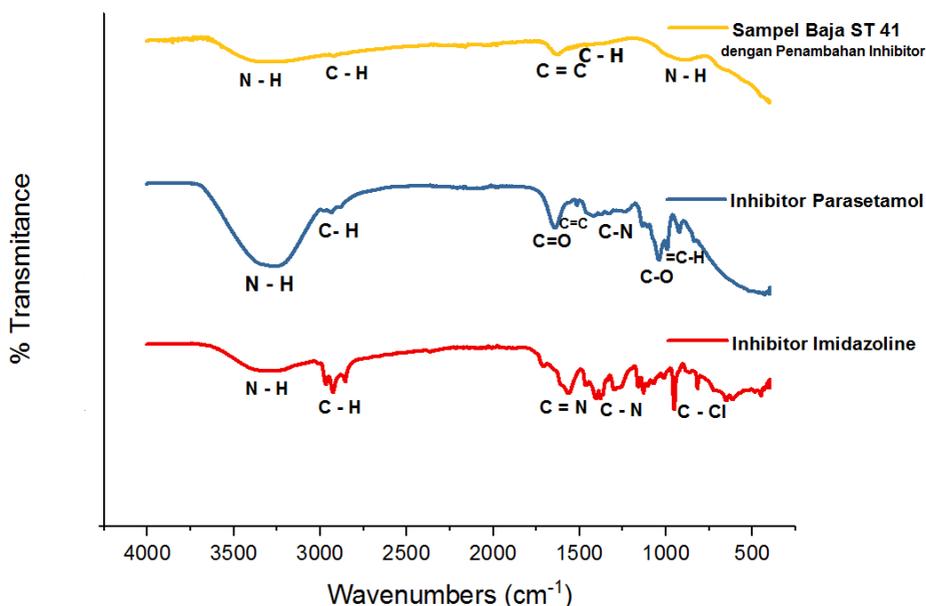


**Gambar 4. 15** Hasil FTIR Spesimen baja ST 41 pH 6, kecepatan putar 150 RPM, konsentrasi 200 ppm (imidazoline) : 100 ppm (parasetamol)



**Tabel 4. 7** Hasil analisa gugus fungsi sampel baja ST 41

Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Range Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Ikatan	Gugus Fungsi
3337,63	3400-3250	N-H	(stretch), 1°,2° Amines
2919,69	3000-2850	C-H	Alkane
1636,70	1680-1620	C=C	Alkene
1469,41	1470-1450	C-H	Alkane
892,20	910-665	N-H	Wag, (Primary and secondary amines only)



**Gambar 4. 16** Perbandingan hasil FTIR bahan inhibitor dan sampel baja ST 41 setelah penambahan inhibitor



**Tabel 4. 8** Perbandingan hasil analisis gugus fungsi bahan inhibitor campuran dan sampel baja ST 41.

<i>Range Wavenumber (cm<sup>-1</sup>)</i>	Ikatan	Gugus Fungsi Pada Inhibitor Campuran	Gugus Fungsi pada Sampel Baja ST 41
3400-3250	N-H	1 <sup>o</sup> ,2 <sup>o</sup> <i>Amines, amides</i>	1 <sup>o</sup> ,2 <sup>o</sup> <i>Amines</i>
3000-2850	C-H	<i>Alkane</i>	-
3000-2850	C-H	<i>Alkane</i>	<i>Alkane</i>
3000-2850	C-H	<i>Alkane</i>	-
1820-1630	C=O	<i>Carbonyl</i>	-
1660-1580	C=N	<i>Aromatic Ring</i>	-
1600-1400	C=C	<i>Aromatic</i>	<i>Aromatic</i>
1500-1400	C Stretch (in rings)	<i>Aromatics</i>	-
1470-1450	C-H	<i>Alkane</i>	<i>C-H</i>
1335-1250	C-N	<i>Aromatic Amines</i>	-
1360-1080	C-N	<i>Amines</i>	-
1360-1080	C-N	<i>Amines</i>	-
1360-1080	C-N	<i>Amines</i>	-
1360-1080	C-N	<i>Amines</i>	-
1300-1000	C-O	<i>Ether</i>	-
1000-675	=C-H	<i>Alkene</i>	-
1000-675	=C-H	<i>Alkene</i>	-
910-665	N-H	1 <sup>o</sup> ,2 <sup>o</sup> <i>Amines</i>	1 <sup>o</sup> ,2 <sup>o</sup> <i>Amines</i>
850-550	C-Cl	<i>Alkyl Halides</i>	-
850-550	C-Cl	<i>Alkyl Halides</i>	-
690-515	C-Cl	<i>Alkyl Halides</i>	-
690-515	C-Br	<i>Alkyl Halides</i>	-

Gambar 4.16 ditunjukkan perbandingan hasil FTIR Pada spesimen baja ST 41 yang telah direndam selama sepuluh hari dengan pemberian konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm dan

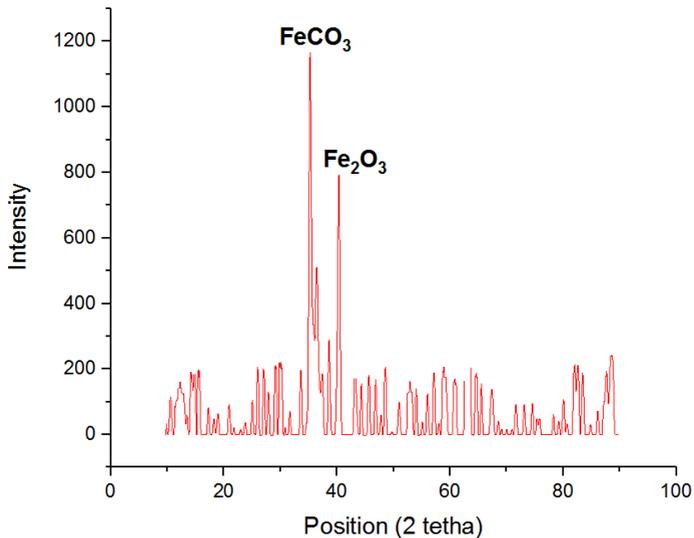


kecepatan putar 150 RPM pada pH 6 dengan bahan inhibitor *imidazoline* dan parasetamol. Dari analisis gugus fungsi pada tabel 4.7 Terlihat bahwa pada spesimen baja ST 41 terdapat gugus fungsi yang sama dengan inhibitor imidazoline dan parasetamol yaitu gugus fungsi *Amines* (N – H) yang mengalami perubahan dari *wavenumber* 3290,07  $\text{cm}^{-1}$  dari *imidazoline* dan 3258,50  $\text{cm}^{-1}$  dari parasetamol menjadi 3337,63 pada sampel dan *Alkanes* (C – H) pada *wavenumber* 2919,69  $\text{cm}^{-1}$

Dari tabel 4.8 ditunjukkan analisis gugus fungsi keseluruhan pada bahan inhibitor dan spesimen baja ST 41. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hutasoit (2013), terdapat gugus fungsi N-H pada sampel uji. Dengan adanya gugus fungsi *amine* pada permukaan baja, menunjukkan bahwa inhibitor korosi *imidazoline* menempel permukaan logam. Kemudian ditemukannya perubahan *wavenumber* dari gugus senyawa aromatik C=C dari 1514,57  $\text{cm}^{-1}$  (parasetamol) menjadi 1636,70  $\text{cm}^{-1}$  perubahan *wavenumber* pada lapisan sampel baja yang terjadi kemungkinan karena adsorpsi parasetamol pada permukaan pada permukaan sampel baja ST 41.

#### **4.1.7 Pengujian X – Ray Diffraction (XRD)**

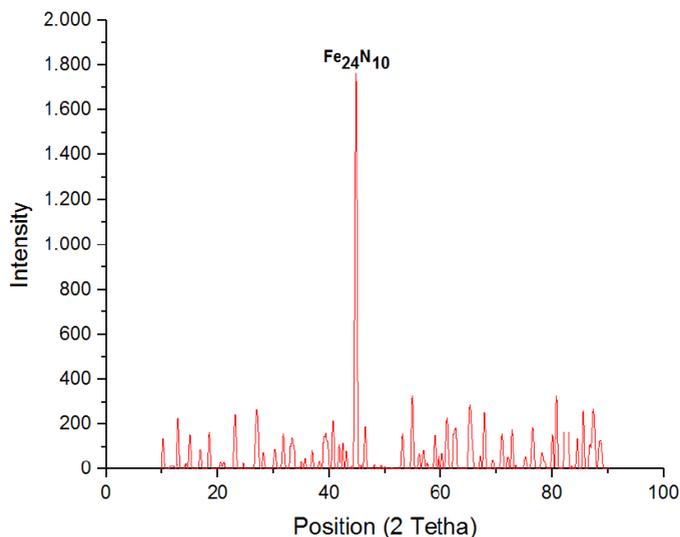
Pengujian XRD dilakukan pada 2 sampel, yaitu sampel dengan parameter pH 6 kecepatan putar 150 RPM, konsentrasi inhibitor korosi campuran 100 ppm (*imidazoline*) : 200 ppm (parasetamol) dan sampel pH 6 dengan kecepatan putar sebesar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor korosi campuran 200 ppm (*imidazoline*) : 100 ppm (parasetamol). Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa atau unsur yang terbentuk pada permukaan sampel setelah dilakukan perendaman selama sepuluh hari. Hasil XRD lalu dilakukan *fitting* berdasarkan *peak* tertinggi yang ada.



**Gambar 4. 17** Hasil pengujian XRD spesimen pH 6, kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor campuran 100 ppm : 200 ppm

Gambar 4.17 ditunjukkan hasil pengujian XRD, posisi puncak peak adalah senyawa  $\text{FeCO}_3$  yang bersesuaian dengan COD (Crystallographic Open Database) 96 – 901 – 4945 dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang bersesuaian dengan COD 96 – 400 – 2384.

Senyawa  $\text{FeCO}_3$  terbentuk sebagai produk korosi yang terjadi pada lingkungan yang mengandung gas  $\text{CO}_2$ . Sedangkan senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  berasal dari kontaminasi dengan oksigen dari udara, belum terbentuk senyawa  $\text{Fe}_2\text{N}_{10}$  atau *iron nitride* sebagai hasil interaksi antara inhibitor *imidazoline* dan Fe karena konsentrasi inhibitor *imidazoline* belum mencapai CMC (*critical micelles concentration*) sehingga molekul *imidazoline* belum menempel pada permukaan Fe.



**Gambar 4. 18** Hasil Pengujian XRD spesimen pH 6, kecepatan putar 150 RPM dan konsentrasi inhibitor campuran 200 ppm :  
100 ppm

Gambar 4.18 ditunjukkan hasil pengujian XRD, posisi puncak *peak* adalah senyawa  $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$  yang bersesuaian dengan COD (*Crystallographic Open Database*) 96 – 231 – 0872.

Senyawa  $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$  terbentuk dari reaksi antara molekul *imidazole* yang memiliki 2 atom nitrogen. Atom nitrogen yang tidak berikatan dengan atom hidrogen, memiliki elektron tidak berpasangan yang tidak terikat dalam rantai aromatik (*pyridine*), atom nitrogen pada *pyridine* akan mendonorkan elektronnya ke Fe secara *chemisorption*. Sehingga terbentuk senyawa *iron nitride*. Tidak ditemukannya produk korosi karena senyawa  $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$  menyingkirkan produk korosi yang terbentuk sebelumnya.



#### 4.1.8 Pengamatan Visual



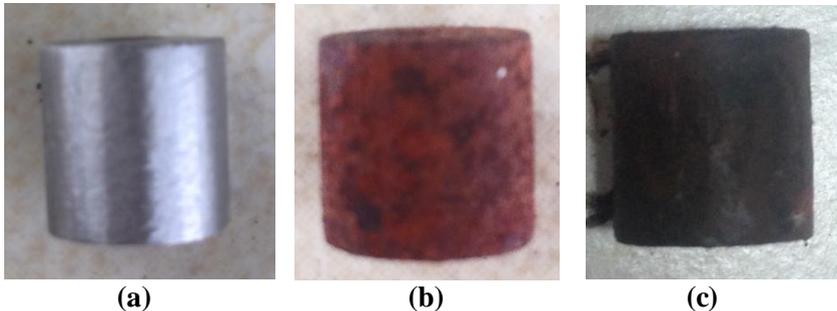
(a)

(b)

(c)

**Gambar 4. 19** Pengamatan visual pada sampel baja ST 41 dengan perlakuan (a) sebelum proses *running* (b) *Running* dengan pH 6, 150 RPM tanpa inhibitor dan (c) *Running* dengan pH 6, 200 ppm : 100 ppm, 150 RPM.

Dari hasil pengamatan secara visual pada gambar 4.19 dengan sampel (a) terlihat bahwa permukaan sampel terlihat bersih, tanpa adanya produk korosi yang menempel pada permukaan sampel, sedangkan pada sampel (b) dengan proses *running* selama sepuluh hari dengan parameter pH 6, kecepatan putar 150 RPM tanpa diberikan inhibitor terlihat adanya produk korosi berwarna coklat kemerahan yang menutupi permukaan sampel. Lalu pada sampel (c) yang telah dilakukan proses *running* selama sepuluh hari dengan parameter pH 6, konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm, dan kecepatan putar 150 RPM, terlihat bahwa pada permukaan sampel terdapat lapisan berwarna kehitaman yang menutupi permukaan sampel yang kontak dengan elektrolit, yang diduga merupakan senyawa  $Fe_2N_{10}$ .



**Gambar 4. 20** Pengamatan visual pada sampel baja ST 41 dengan perlakuan (a) sebelum proses running (b) Running dengan pH 4, 0 ppm, 250 RPM dan (c) Running dengan pH 4, 200 ppm : 100 ppm, 250 RPM.

Gambar 4.20 pada sampel (a) permukaan sampel terlihat bersih, tanpa adanya produk korosi yang menempel pada sampel. Sedangkan pada sampel (b) dengan proses *running* selama sepuluh hari dengan parameter pH 4, kecepatan putar 250 RPM, dan tanpa inhibitor, terlihat produk korosi berwarna coklat kemerahan. Lalu pada sampel (c) yang telah dilakukan proses *running* selama sepuluh hari dengan parameter pH 4, kecepatan putar 250 RPM, dan konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm, tampak terbentuk lapisan berwarna kehitaman yang tersebar secara merata pada permukaan spesimen yang kontak dengan elektrolit, yang diduga merupakan senyawa  $Fe_2N_{10}$ .

#### 4.2 Pembahasan

Dari data pada tabel Tabel 4.1 ditunjukkan Nilai bilangan reynold pada sampel dengan kecepatan putar 150 RPM senilai 526,569, dan pada sampel dengan kecepatan putar 250 RPM senilai 878,061. Untuk nilai *wall shear stress* pada kecepatan 150 RPM, didapatkan nilai 0.759 dan pada kecepatan putar 250 RPM adalah 1,808. Dari data tersebut, didapatkan hasil bahwa jenis aliran yang terbentuk saat pengujian pada RCE adalah aliran laminar. Hal ini dikarenakan nilai bilangan reynold dibawah angka 2100. Sehingga



semakin cepat aliran fluida meningkatkan nilai wall shear stress, dan menyebabkan efek penggerusan lapisan produk korosi maupun lapisan yang terbentuk karena penambahan inhibitor.

Data pengujian *weight loss* pada gambar 4.1 ditunjukkan data laju korosi pada berbagai konsentrasi inhibitor campuran pada pH 4 dengan kecepatan putar 150 RPM dan 250 RPM. Dari hasil pengujian lalu didapatkan laju korosi terendah pada sampel dengan pH 4 adalah pada rasio volume 200 ppm (*imidazoline*) : 100 ppm (*parasetamol*), kecepatan putar 150 RPM dengan nilai laju korosi sebesar 0,453 mm/year dengan efisiensi inhibitor 59,471 %. Kemudian pada gambar 4.3 nilai laju korosi terendah adalah pada konsentrasi 200 ppm : 100 ppm, kecepatan putar 150 RPM dengan nilai laju korosi sebesar 0,409 mm/year dengan efisiensi inhibitor 61.412 %. Kemudian dari gambar 4.5 dan 4.6 didapatkan hasil bahwa peningkatan nilai pH diikuti dengan penurunan laju korosi pada sampel baja ST 41. Pada gambar 4.1 , 4.3 , 4.5 dan 4.6 inhibitor korosi campuran berbasis imidazoline dan parasetamol memiliki tren penurunan laju korosi pada konsentrasi 100 ppm : 200 ppm, kemudian pada konsentrasi 150 ppm : 150 ppm terjadi peningkatan laju korosi lalu terjadi penurunan pada konsentrasi 200 : 100 ppm. Hal ini terjadi karena telah tercapainya konsentrasi inhibitor pada CMC (*Critical Micelles Concentration*), sehingga dengan adanya penambahan konsentrasi inhibitor surfaktan di atas CMC, permukaan logam menjadi ditutupi oleh lebih dari satu monolayer sehingga membentuk formasi *micelles* yang teradsorpsi pada permukaan logam. Kemudian tegangan permukaan dan densitas arus korosi tidak berubah secara signifikan di atas CMC (Malik, 2011). Pada parasetamol yang bekerja dengan mengikat radikal bebas oleh senyawa antioksidan melalui adsorpsi fisik dengan cara melepas ion hidrogen, yang terdapat pada rantai amine (N-H), pada konsentrasi 100 ppm : 200 ppm, parasetamol mengikat anion – anion korosif pada elektrolit dengan lebih optimal, sedangkan pada konsentrasi 150 ppm : 150 ppm dan 200 ppm : 100 ppm, parasetamol kurang optimal dalam melepas ion hidrogen karena belum mencapai konsentrasi kritis. (Vaduva, et al, 2011).



Dari data penelitian, Inhibitor korosi *imidazoline* memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding parasetamol karena menurunkan laju korosi lebih baik dibanding dengan parasetamol pada konsentrasi dan parameter yang sama.

Dari adanya peningkatan nilai pH pada gambar 4.5 dan 4.6, laju korosi pada sampel menurun. Hal ini dikarenakan. Pada pH tinggi ( $>4$ ) akan mengakibatkan penurunan kelarutan  $\text{FeCO}_3$  sehingga mengarahkan pada peningkatan laju pengendapan  $\text{FeCO}_3$  dan meningkatkan pembentukan *scale*, hal tersebut menimbulkan permukaan sampel yang kontak dengan elektrolit berkurang sehingga terjadi penurunan laju korosi. (Pandyo, 2012).

Dari data tabel 4.2 ditunjukkan data hasil perhitungan adsorpsi isoterm untuk menentukan energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{\text{ads}}$ ) agar mengetahui jenis adsorpsi yang terjadi antara permukaan logam dan inhibitor korosi, didapatkan hasil bahwa semua hasil pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa jenis adsorpsi yang terjadi antara inhibitor korosi dan permukaan logam adalah *physical adsorption*. Dikarenakan nilai  $\Delta G_{\text{ads}}$  yang didapatkan kurang dari -20 kJ/mol. Akan tetapi dari hasil pengujian FTIR, XRD dan studi literatur pada sub bab 2.8 menunjukkan bahwa mekanisme inhibisi inhibitor korosi *imidazoline* adalah secara *chemisorption* sedangkan inhibitor parasetamol bekerja secara *physisorption*.

Hasil pengujian polarisasi linear dari gambar 4.7 dan 4.8, didapatkan penurunan laju korosi dan peningkatan efisiensi inhibitor dengan pemberian inhibitor. Dari hasil grafik kurva polarisasi, dengan adanya pemberian inhibitor menggeser kurva tafel kebawah yang mengindikasikan adanya penurunan nilai densitas arus korosi ( $i_{\text{corr}}$ ). Sehingga inhibitor bekerja mengurangi laju korosi baja ST 41. Sedangkan bergesernya kurva polarisasi ke arah kanan setelah diberikan inhibitor korosi menunjukkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara larutan elektrolit dan sampel uji menjadi lebih bersifat anodik. Maka reaksi pada sampel uji lebih dominan bila dibandingkan dengan reaksi pada larutan, yang mengindikasikan jenis inhibitor anodik, atau yang teradsorpsi pada logam.



Pengujian EIS pada tabel 4.4 dan 4.5 Terjadi peningkatan nilai tahanan polarisasi ( $R_p$ ) baik pada  $R_p$  pertama maupun kedua dengan adanya penambahan inhibitor, peningkatan nilai tahanan polarisasi diikuti dengan peningkatan efisiensi inhibitor (karthikaiselvi, 2013). Nilai kapasitansi *double layer* ( $C_{dl}$ ) pada rangkaian muncul sebagai CPE yang disebabkan karena permukaan logam yang kasar serta tidak homogen. (Toledo. 2011). Terjadinya penurunan nilai CPE karena penurunan konstanta dielektrik lokal dan peningkatan ketebalan *layer* yang teradsorpsi. Penurunan konstanta dielektrik lokal disebabkan dari pemindahan molekul air (dengan konstanta dielektrik tinggi) oleh molekul inhibitor (dengan konstanta dielektrik rendah) (Inbaraj, 2017) yang berarti molekul inhibitor teradsorpsi pada antarmuka logam (karthikaiselvi, 2013).

Gambar 4.14 ditunjukkan hasil pengujian FTIR pada inhibitor parasetamol terdapat beberapa gugus fungsi yang sesuai dengan struktur molekul dari inhibitor parasetamol pada gambar 2.22, gugus fungsi tersebut adalah *amine* yang termasuk dalam senyawa fenol (N-H), selanjutnya ikatan (C-H) yang merupakan senyawa alkana dengan intensitas rendah, carbonyl (C=O) yang merupakan salah satu gugus fungsional utama, ikatan senyawa aromatik (C=C), alkane (-C-H), serta ikatan (C-N) yang juga merupakan senyawa *amine*. Gambar 4.15 yang merupakan hasil pengujian FTIR pada spesimen baja ST 41 didapatkan gugus fungsi N-H, C-H, dan C=C. Dari gambar 4.16 ditunjukkan perbandingan hasil FTIR pada bahan inhibitor campuran dan sampel baja ST 41. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Hutasoit (2013) dengan adanya gugus fungsi *amine* pada permukaan baja, menunjukkan bahwa inhibitor korosi *imidazoline* menempel permukaan logam. Adanya gugus fungsi *amine* (N-H) yang ada pada bagian kepala dari struktur molekul *imidazoline*, Menandakan adanya donor elektron yang diberikan oleh atom nitrogen pada bagian *pyridine* kepada Fe dari sampel uji sehingga terbentuk reaksi antara inhibitor *imidazoline* dan sampel uji lalu terbentuk lapisan tipis yang melindungi logam dari korosi.



(Bhargava, 2009). Dengan adanya gugus fungsi hidrokarbon (C-H) pada permukaan berperan penting dalam menangkal molekul air dari permukaan logam karena sifatnya yang hidrofobik (Zhang, Xueyan. 2001). Kemudian ditemukannya perubahan *wavenumber* dari gugus senyawa aromatik C=C dari  $1514,57\text{ cm}^{-1}$  (parasetamol) menjadi  $1636,70\text{ cm}^{-1}$  perubahan *wavenumber* pada lapisan sampel baja yang terjadi karena adsorpsi parasetamol pada permukaan pada permukaan sampel baja ST 41.

Hasil pengujian XRD (*X – Ray Diffraction*) dari gambar 4.17 sampel dengan pH 6, kecepatan putar 150 RPM, konsentrasi inhibitor 100 ppm (*imidazoline*) : 200 ppm (parasetamol) terbentuk senyawa  $\text{FeCO}_3$  yang bersesuaian dengan COD (Crystallographic Open Database) 96 – 901 – 4945, senyawa  $\text{FeCO}_3$  terbentuk karena reaksi antara Fe dengan ion  $\text{CO}_3^{2-}$  yang berasal dari ionisasi asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dan senyawa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang bersesuaian dengan COD 96 – 400 – 2384 yang terbentuk karena kontaminasi oksigen dari udara. Kedua jenis senyawa tersebut merupakan produk korosi, hasil tersebut menunjukkan tidak terbentuknya senyawa hasil reaksi antara inhibitor parasetamol dengan Fe. Sedangkan hasil XRD dari gambar 4.18 menggunakan sampel dengan pH 6, kecepatan putar 150 RPM, konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm terbentuk senyawa  $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$  yang bersesuaian dengan COD 96 – 231 – 0872. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan inhibitor *imidazoline* sebesar 200 ppm terbentuk ikatan Fe dengan atom Nitrogen dari *pyridine* gambar 2.16. Dengan donasi elektron bebas dari atom nitrogen pada *pyridine*, bekerja melalui ikatan antara Fe dan atom Nitrogen secara *chemisorption*. Sedangkan pasangan elektron pada atom nitrogen *Pyrrole*, dibutuhkan untuk stabilisasi rantai atomik pada bagian *head group* dari struktur *imidazoline*. (Bhargava, 2009).

Gambar 4.19 dan 4.20 ditunjukkan pengamatan visual setelah pengujian sampel baja ST 41, didapatkan hasil bahwa terdapat lapisan berwarna kehitaman yang diduga adalah senyawa  $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$  yang terdapat pada permukaan sampel.



Mekanisme kerja dari inhibitor korosi berbasis *imidazoline* adalah dari jenis struktur molekul nitrogen pada gambar 2.16, pada bagian kepala, molekul *imidazole* memiliki 2 atom nitrogen. Atom nitrogen yang tidak berikatan dengan atom hidrogen, memiliki elektron tidak berpasangan yang tidak terikat dalam rantai aromatik (*pyridine*), atom nitrogen pada *pyridine* akan mendonorkan elektronnya ke Fe secara *chemisorption*. Sedangkan pasangan elektron pada atom nitrogen *pyrole*, dibutuhkan untuk stabilisasi rantai aromatik pada bagian kepala (*head group*) dari struktur *imidazoline* (Bhargava, 2009) sesuai skema interaksi molekul *imidazole* dengan permukaan oksida besi pada gambar 2.19. Lalu rantai hidrokarbon saling berikatan untuk membentuk lapisan yang bersifat hidrofobik pada permukaan logam sehingga menghindarkan kontak antara media korosif dan permukaan logam (Jaal, et al., 2014). Dari pengujian polarisasi linear terlihat adanya pergeseran kurva ke arah kanan menunjukkan bahwa jenis inhibitor anodik yang bersifat mengganggu dan berinteraksi dengan logam terbukti dengan adanya senyawa  $Fe_{24}N_{10}$  sebagai hasil *chemisorption* Fe dengan atom nitrogen.

Mekanisme kerja dari inhibitor parasetamol adalah bekerja secara *physisorption* yang berarti parasetamol berinteraksi secara elektrostatis pada permukaan baja, dibuktikan dari hasil FTIR terdapat gugus fungsi N-H dan C=C yang identik terdapat pada gugus fungsi parasetamol menempel pada permukaan baja ST 41, lalu perhitungan adsorpsi isoterm dimana nilai  $\Delta G_{ads}$  lebih positif dari -20 KJ/mol dan hasil XRD dari gambar 4.17 ditemukan senyawa produk korosi  $FeCO_3$  dan  $Fe_2O_3$ , tidak ditemukan senyawa hasil interaksi secara kimia antara Fe dengan inhibitor obat parasetamol.



---

**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

**5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan inhibitor campuran *imidazoline* dan parasetamol menurunkan laju korosi baja ST 41. Dengan efisiensi maksimal senilai 61,412% pada pH 6, kecepatan putar 150 RPM, dan rasio volume 2 : 1. Peningkatan kecepatan putar diikuti dengan peningkatan laju korosi baja ST 41, sedangkan peningkatan pH diikuti dengan penurunan laju korosi baja ST 41.
2. Mekanisme inhibisi dari inhibitor campuran *imidazoline* dan parasetamol adalah secara campuran, baik dari *imidazoline* secara *chemisorption* dengan adanya donor elektron atom nitrogen *pyridine* dengan Fe. Kemudian bagian rantai hidrokarbon yang bersifat hidrofobik menghindarkan kontak antara media korosif (elektrolit) dan permukaan logam. Sedangkan mekanisme inhibisi dari inhibitor parasetamol adalah bekerja secara *physisorption* yang berarti parasetamol berinteraksi secara elektrostatis pada permukaan baja, dibuktikan dari hasil FTIR terdapat gugus fungsi yang identik dari parasetamol menempel pada permukaan baja ST 41 dan perhitungan adsorpsi isoterm dimana nilai  $\Delta G_{ads}$  lebih positif dari -20 KJ/mol.

**5.2 Saran**

1. Proses pembuatan RCE harus lebih teliti lagi, sehingga alat RCE bisaberputar lebih baik pada porosnya.
2. Menambah variasi temperatur pada penelitian selanjutnya untuk melihat pengaruh inhibitor korosi campuran *imidazoline* dan parasetamol pada keadaan yang sebenarnya.



### **Daftar Pustaka**

- Adiyanti, Y. R., 2011. Pengaruh Temperatur dan PH Terhadap Karakterisasi Korosi Baja BS 970 di Lingkungan CO<sub>2</sub>. *Jurnal Teknik Material dan Metalurgi*.
- Al - Zahrarni, 2006 *Cost of Corrosion in Oil Production & Refining*, Saudi Aramco Journal of Technology., 2006
- Amalia, I., 2015. Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium Guajava) dan Daun Cengkeh (Syzygium aromaticum) Sebagai Inhibitor Organik pada Baja API 5L Grade B di Lingkungan NaCl 3,5% pH 4.. *Surabaya, Teknik Material dan Metalurgi ITS*.
- Bentiss, F., 2005. Enhanced Corrosion resistance of carbon steel in normal sulfuric acid medium by some macrocyclic polyether compounds containing a 1,3,4-thiadiazole moiety AC impedance and computational studines. *Prog.Org Coat*.
- Bertolini, A., 2006. Paracetamol: New Vistas of an Old Drug. *CNS Drug Review Journal compilaition Blackwell Publishing Inc.*, Volume 12.
- Bhargava, G., 2009. Imidazole-Fe Interaction in an Aqueous Chloride Medium: Effect of Cathodic Reduction of the Native Oxide. *Langmuir Article : American Chemical Society*.
- Borges, R. S., Barros, T. G. & Pereira, G. A., 2014. A Structure and Antioxidant Activity Study of Paracetamol and Salicylic Acid. *Scientific Research Pharmacology & Pharmacy*.
- Brian, A., 2008. Paracetamol (acetaminophen): mechanisms of action. *Paediatr*, p. 18.
- Bundjali, B., 2005. Perilaku dan Inhibisi Korosi Baja Karbon dalam Larutan Buffer Asetat, Bikarbonat-CO<sub>2</sub>. *Disertasi Program Doktor Institut Teknologi Bandung*.
- Dalimunthe, I. S., 2004. Kimia dari Inhibitor Korosi. *Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*.
- DIN Deutsches Institut für Normung, 2006. Iron and Steel Quality Standards 4 Mechanical Engineering and Toolmaking. Berlin : e.v Berlin



- Dugan, G. et al., 1999. Baker Petrolite, a supplement to Mater. *Corrosion Science and Engineering Section* , p. 20.
- Fontana, M. G., 1986. *Corrosion Engineering 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Gamry Instruments, 2012. *Application Note : Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy*. Chicago: Gamry Corporation Works Press.
- Gordon, M., 1990. *Food Antioxidants*. New York: Elsevier Applied Science London and New York.
- Gusmano, G., 2006. Study of the Inhibition Mechanism of Imidazolines by Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Corrosion Science Section, NACE International*.
- Hosseini, M., 2003. Synergism and antagonism in mild steel corrosion inhibition by sodium dodecylbenzenesulphonate and hexamethylenetetramine. *Corrosion Science*.
- Husien, S. & Kurniawan, B. A., 2013. Pemanfaatan Obat Paracetamol Sebagai Inhibitor Korosi pada Baja API 5L Grade B dalam Media 3.5% NaCl dan 0.1M HCL. *Jurnal Teknik POMITS*, Volume I.
- Hutasoit, R. J. W., 2013. Studi Inhibitor Korosi Berbahan Dasar Imidazoline Dengan Menggunakan Polarisasi Tafel. *Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI*.
- Inbaraj, N. U., 2017. Corrosion inhibition properties of paracetamol based benzoxazine on HCS and Al surfaces in 1M HCl. *Progress in Organic Coating - Elsevier*.
- Jaal, R. A., Ismail, C. M. & Ariwahjoedi, B., 2014. A Review of CO<sub>2</sub> Corrosion Inhibition by Imidazline-Based Inhibitor. *MATEC Web Conferences*.
- Jones, D. A., 1996. *Principle and Prevention of Corrosion*. 2nd edition. Nevada: Prentice Hall Inc.
- Jovancevic, V., 1999. Inhibition of Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel by Imidazolines and Their Precursors. *Corrosion Science Section : NACE INTERNATIONAL*.
- Karthikaiselvi, R., 2013. Study of adsorption properties and inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid media by water



- soluble composite poly (vinyl alcohol-o-methoxyl aniline). *Journal of The Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*.
- Kusumastuti, R., 2012. Pengaruh Ekstrak Buah Mengkudu (Merinda Citrifolia) sebagai Green Inhibitor Corrosion pada Baja Karbon di Lingkungan NaCl 3.5%. *Thesis, Fakultas Teknik, Departemen Material dan Metalurgi*.
- Malik, M. A., 2011. Anti - Corrosion Ability of Surfactants : A Review. *International Journal of Electrochemical Science*.
- Marco, R. D., Durnie, W., Jefferson, A. & Kinsella, B., 2001. Surface Analysis of Adsorbed Carbon Dioxide Corrosion Inhibitors. *Corrosion Science Section, NACE International, 57(1)*.
- McCafferty, E., 2010. *Introduction to Corrosion Science*. Alexandria : USA: Springer New York Dordrecht Heidelberg London.
- Nesic, S., 2003. A Mechanistic Model for Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in the Presence of Protective Iron Carbonate Films— Part 3: Film Growth Model. *Corrosion Science Section*.
- Nesic, S. & George, K., 2007. Investigation f Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in hte Presence of Acetic Acid. *CORROSION Journal NACE International* , Volume 63.
- Nesic, S. O., 1996. An Electrochemical Model for Prediction of Corrosion of Mild Steel in Aqueous Carbon Dioxide Solutions. *NACE International*.
- Nugroho, F., 2015. Penggunaan Inhibitor untuk Meningkatkan Ketahanan Korosi pada Baja Karbon Rendah. *Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto*.
- Octoviawan, N. A., 2012. 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>.
- Pandyo, N., 2012. Studi Pengaruh pH Lingkungan 4 Terhadap Laju Korosi Baja 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 : Teknik Metalurgi dan Material FTUI*.



- Peabody, A., 2001. *Control of Pipeline Corrosion..* Houston : Texas: NACE International.
- PINE Research Instruments, 2016. *Study of Mass Transport Limited Corrosion with Rotating Cylinder Electrodes*, New York: Pine Research Instrumentations.
- Priandini, M., 2001. Studi Pengaruh Inhibitor Formaldehid Terhadap Korosi Baja Karbon ASTM A 283 oleh Bakteri Predeuksi Sulfat (SRB) di dalam Air Laut. *Tesis Program Master, Program Khsusus Rekayasa Korosi, Program Studi Rekayasa Pertambangan ITB.*
- Priantoro, F., 2012. Analisa Pengaruh Luasan Scratch Permukaan Terhadap Laju Korosi Pada Pelat Baja A36 dengan Variasi Sistem Pengelasan. *Jurnal Teknik ITS.*
- Ramachandran, S. & Jovancevic, V., 1998. Molecular Modeling of the Inhibitor of Mild Steel CO<sub>2</sub> by Imidazolines. *CORROSION/98 nace*, Issue 17.
- Ravelia, D. 2017. Pengaruh pH, Kecepatan Putar, dan Konsentrasi Inhibitor Berbasis Imidazoline Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1045 di Lingkungan yang Mengandung Gas CO<sub>2</sub>. Surabaya : ITS
- Roberge, P. R., 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Rozenfeld, I., 1981. *Corrosion Inhibitors*. New York: McGraw-Hill Inc..
- Santoso, R. W., 2011. Pengaruh Konsentrasi CH<sub>3</sub>COOH Terhadap Karakterisasi Korosi Baja BS 970 di Lingkungan CO<sub>2</sub>. *Jurnal Teknik Material dan Metalurgi ITS.*
- Schweitzer, P. A., 2007. *Corrosion of Linings and Coatings Cathodic and Inhibitor Protection and Corrosion Monitoring*. 2nd penyunt. London: Taylor and Francis Group, LLC.
- Toledo, Ortega D.M. 2011. *Co<sub>2</sub> corrosion inhibition of X-120 pipeline steel by a modified imidazoline under flow conditions*. Mexico : Elsevier Ltd
- Uhlig, H. H., 2011. *Uhlig's Corrosion Handbook*. 3rd penyunt. New Jersey : USA: John Wiley & Sons Inc.



- Vaduva, C., Vaszilcsin, N., Kellenberger, N. & Medeleanu, M., 2011. Catalytic enhancement of hydrogen evolution reaction on copper in the presence of benzylamine. *International Journal on Hydrogen Energy*.
- Woie, K., 2011. A study of the interaction between a kinetic hydrate inhibitor and selected corrosion inhibitors. *Doctorate Dissertation University of Stavanger, Faculty of Science and Technology*.
- Yttria, M., 2014. Studi pengaruh ekstrak jahe sebagai inhibitor pipa baja API 5L pada lingkungan larutan NaCl 3,5%. *Tesis Magister Universitas Indonesia : Depok*.
- Yusuf, S., 2008. Laju Korosi Pipa Baja Karbon A106 Sebagai Fungsi Temperatur dan Konsentrasi NaCl Pada Fluida yang Tersaturasi Gas CO<sub>2</sub>. *Jurnal Korosi, Issue Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Studi Ilmu Material Universitas Indonesia*.
- Zhang, H. H., 2015. The Behaviour of Pre-corrosion effect on the performance of imidazoline-based inhibitor in 3 wt.% NaCl Solution Satureated with CO<sub>2</sub>. *Beijing : University of Science and Technology Beijing*.
- Zhang, K., 2014. Halogen-Substituted Imidazoline Derivatives as Corrosion Inhibitors for Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Corrosion Science : School of Science, Nanjing Technological University*.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### 1. Pembuatan Elektroda Kerja

Baja ST 41



Elektroda Kerja

- Memotong spesimen dengan panjang 1 cm
- Membubut spesimen untuk mendapatkan diameter 1 cm
- Melubangi spesimen dengan diameter lubang 3 mm
- Melakukan pengamplasan spesimen agar rata dan bersih dari korosi
- Menimbang berat awal spesimen dan mengukur dimensi dengan menggunakan jangka sorong
- Memasang spesimen pada poros RCE sebanyak 3 spesimen dan dibatasi dengan teflon

### 2. Pembuatan Larutan NaCl 3,5%

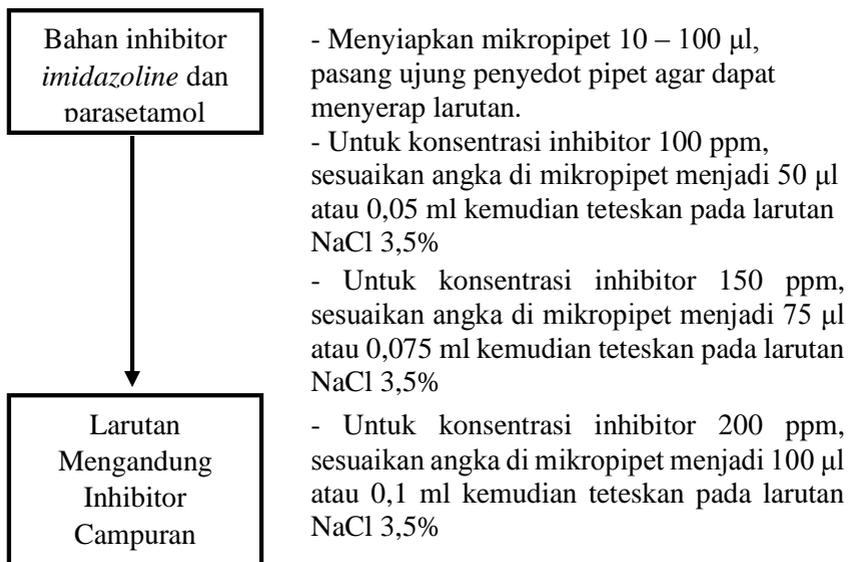
Garam NaCl dan Aquades



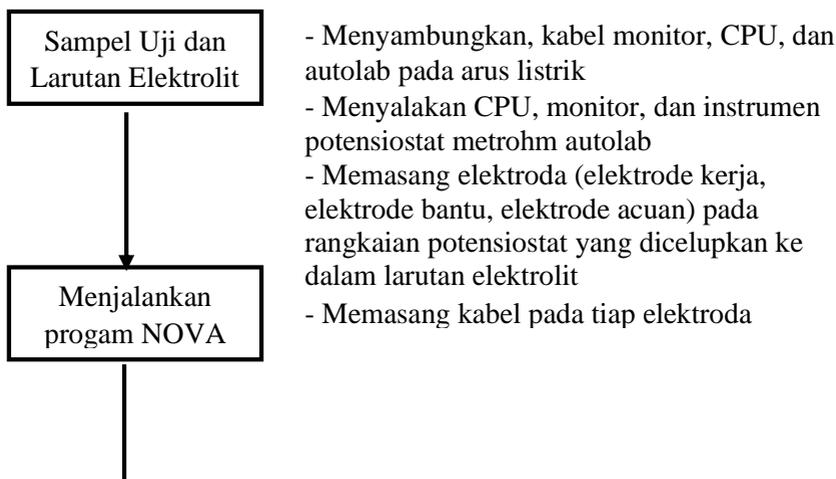
Larutan NaCl 3,5%

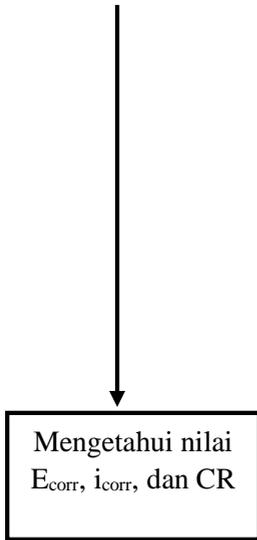
- Menimbang garam NaCl sebanyak 17,5 gram dengan menggunakan timbangan digital
- Menuangkan garam NaCl ke gelas beaker
- Menungkan aquades ke dalam gelas beaker sampai volume larutan 500 ml dan diaduk agar larut dengan sempurna
- Larutan NaCl 3,5% siap digunakan

### 3. Preparasi Inhibitor Campuran



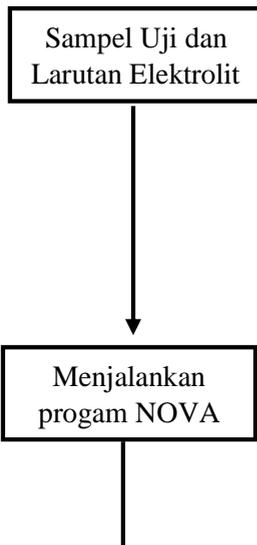
### 4. Pengujian Polarisasi Linear (Tafel)



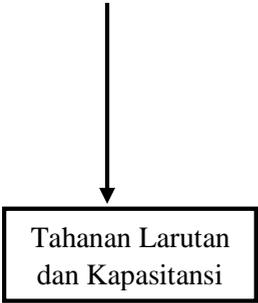


- Menyalakan program Nova
- Memilih program Tafel sebagai program yang diinginkan
- Mengisi parameter pada kolom "**Properties for Tafel**" dan "**Properties for Common**"
- Memulai program Nova dengan mengklik tombol *start*
- Setelah selesai menjalankan program Nova yang ditandai dengan tulisan "CELL OFF" pada kiri bawah, maka akan muncul grafik tafel
- Kemudian mengklik nilai ujung kiri pada grafik tafel yang dihasilkan.
- Melakukan metode ekstrapolasi tafel untuk mendapatkan nilai.

## 5. Pengujian EIS



- Menyambungkan, kabel monitor, CPU, dan autolab pada arus listrik
- Menyalakan CPU, monitor, dan instrumen potensiostat metrohm autolab
- Memasang elektroda (elektrode kerja, elektrode bantu, elektrode acuan) pada rangkaian potensiostat yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolit
- Memasang kabel pada tiap elektroda
- Menyalakan program Nova
- Memilih program Potensiostatic EIS sebagai program yang diinginkan
- Mengisi parameter pada kolom "**Properties for Potensiostatic EIS**" dan "**Properties for Common**"



Tahanan Larutan  
dan Kapasitansi

- Memulai program Nova dengan mengklik tombol *start*
- Setelah selesai menjalankan program Nova yang ditandai dengan tulisan “CELL OFF” pada kiri bawah, maka akan muncul grafik Nyquist
- Melakukan *fitting* dan menyusun *equivalent circuit* yang tepat

## 6. Perhitungan ppm Inhibitor Campuran dalam 500 ml aquades

- Konsentrasi 100 ppm =  $\frac{100 \times 500 \text{ ml}}{1000000}$   
= 0,05 ml
- Konsentrasi 150 ppm =  $\frac{150 \times 500 \text{ ml}}{1000000}$   
= 0,075 ml
- Konsentrasi 200 ppm =  $\frac{200 \times 500 \text{ ml}}{1000000}$   
= 0,1 ml

## 7. Pengujian *Weight Loss*

$$\text{Laju Korosi} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = \frac{87600 \times w}{D \times A \times T}$$

W= Berat yang Hilang (gram)

D= Berat Jenis Logam (gram/cm<sup>3</sup>)

A= Luas Permukaan Kontak (cm<sup>2</sup>)

T= Waktu (Jam)

Perhitungan laju korosi sampel pada pH 4, 250 RPM dan konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm

$$\text{Laju Korosi} \left( \frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = \frac{87600 \times w}{D \times A \times T}$$

$$= \frac{87600 \times 0,052}{7,87 \times 3,14 \times 240} = 0,768 \text{ mm/year}$$

## 8. Perhitungan Efisiensi Inhibitor

$$IE = \frac{Cr_0 - Cr_1}{Cr_0} \times 100\%$$

Perhitungan efisiensi inhibitor sampel pada pH 4, 250 RPM dan konsentrasi inhibitor 200 ppm : 100 ppm

$$IE = \frac{1,826 - 0,768}{1,826} \times 100\% = 57,94 \%$$

## 9. Perhitungan Kecepatan Putar

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

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60$$

$\omega$  = Kecepatan putar (rad/s)

$d_{cyl}$  = Jari – jari sampel (cm)

F = Kecepatan putar (RPM)

$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu$$

$U_{cyl}$  = kecepatan linear dari permukaan luar (cm/s)

$d_{cyl}$  = Diameter sampel (cm)

$\rho$  = Berat jenis larutan (gr/cm<sup>3</sup>)

$\mu$  = Viskositas larutan (gr/cm s)

$$\tau_{cyl} = 0,0791 \rho RE^{-0,3} U_{cyl}^2$$

$\tau_{cyl}$  = *Wall Shear Stress*

Perhitungan untuk kecepatan putar 150 RPM

$$\begin{aligned} U_{cyl} &= \pi d_{cyl} F / 60 \\ &= (3,14 \times 1 \times 150) / 60 \\ &= 7,854 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} RE &= U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu \\ &= (7,854 \times 1 \times 1,0196) / (0,0152) \\ &= 526,569 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau_{cyl} &= 0,0791 \rho RE^{-0,3} U_{cyl}^2 \\ &= 0,0791 \times 1,0196 \times (526,569)^{-0,3} \times (7,854)^2 \\ &= 0,759\end{aligned}$$

## 10. Perhitungan Adsorpsi Isoterm

$$\text{Surface Coverage } (\theta) = \frac{Cr_0 - Cr_1}{Cr_0}$$

$$K_{ads} = \frac{\theta}{C(1 - \theta)}$$

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln(55,5 \times K_{ads})$$

C = Konsentrasi inhibitor pada larutan

R = 0,008314 kJ/ mol K

T = Temperatur (K)

Perhitungan untuk pH 4, 200 ppm : 100 ppm, 250 RPM

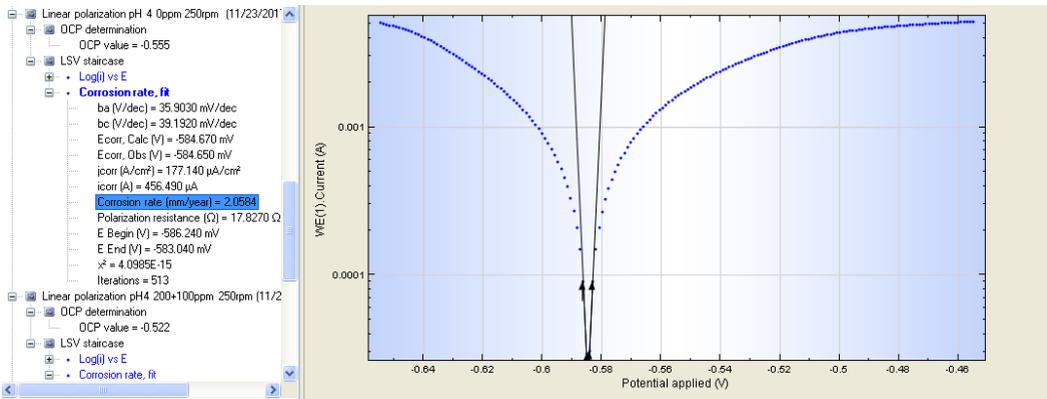
$$\theta = \frac{2,058 - 0,793}{2,058} = 0,6147$$

$$K_{ads} = \frac{0,6147}{300(1 - 0,6147)} = 5,3179 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned}\Delta G_{ads} &= -0,008314 \times 298 \ln(55,5 \times 5,3179 \times 10^{-3}) \\ &= 3,02335 \text{ kJ/ mol}\end{aligned}$$

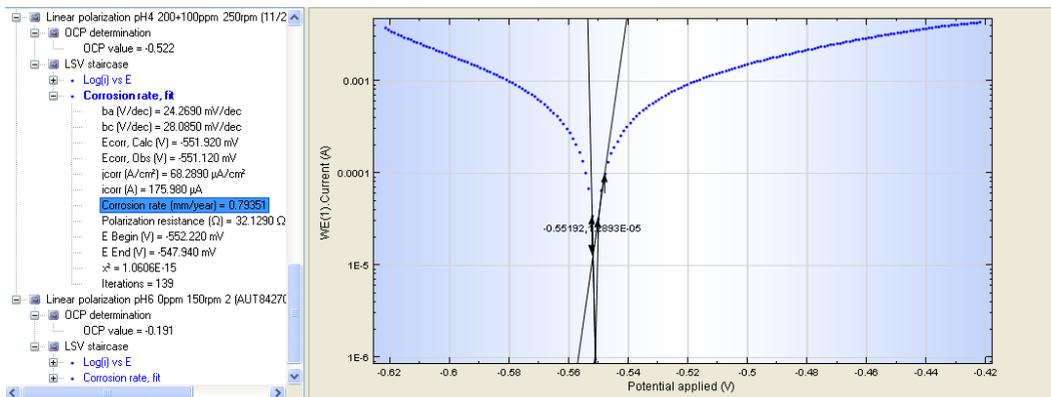
## 11. Hasil Pengujian Polarisasi Linear (Tafel) (Potensiostat Autolab PGSTAT302N)

a. Pada sampel pH 4, 0 ppm, 250 RPM



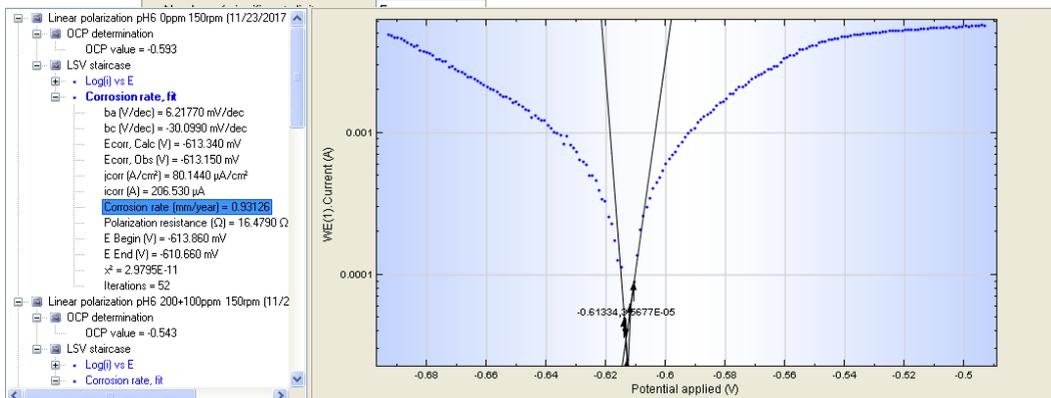
Density (g/cm <sup>3</sup> )	7.86
Equivalent weight (g/mol)	27.925
Surface area (cm <sup>2</sup> )	2.577
Number of significant digits	5
<input type="button" value="Reset"/>	

b. Pada sampel pH 4, 200 ppm :100 ppm, 150 RPM



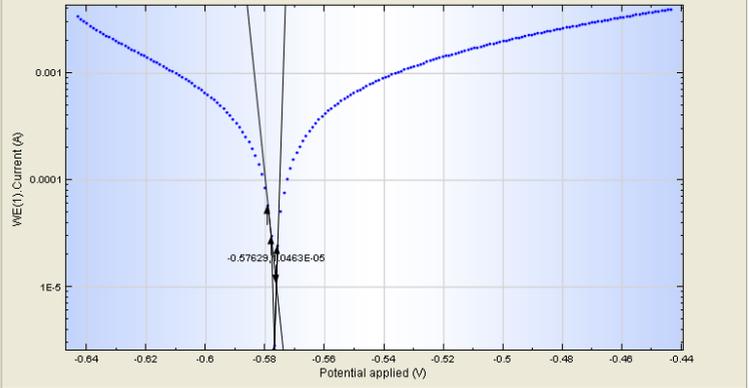
c. Pada sampel pH 6, 0 ppm, 250 RPM

Density (g/cm <sup>3</sup> )	7.86
Equivalent weight (g/mol)	27.925
Surface area (cm <sup>2</sup> )	2.577



Density (g/cm <sup>3</sup> )	7.86
Equivalent weight (g/mol)	27.925
Surface area (cm <sup>2</sup> )	2.577
Number of significant digits	5
<input type="button" value="Reset"/>	

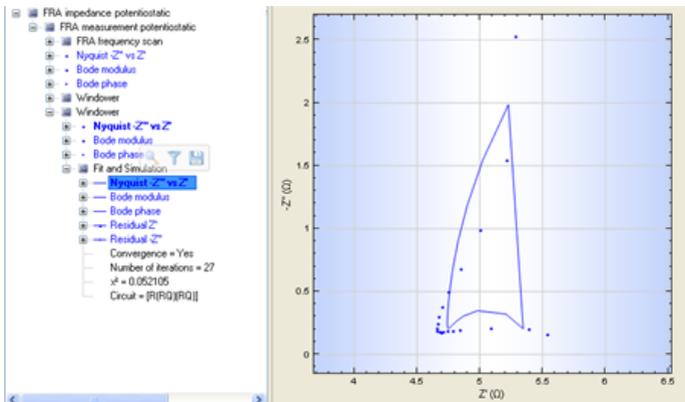
- Linear polarization pH6 200+100ppm 150rpm [11/2]
  - OCF determination
    - OCF value = -0.543
  - LSV staircase
    - Log(I) vs E
    - Corrosion rate, fit
      - ba (V/dec) = 15.9980 mV/dec
      - bc (V/dec) = 15.5000 mV/dec
      - Ecorr, Calc (V) = -576.290 mV
      - Ecorr, Obs (V) = -576.820 mV
      - icorr (A/cm<sup>2</sup>) = 33.6030  $\mu$ A/cm<sup>2</sup>
      - icorr (A) = 86.5960  $\mu$ A
      - Corrosion rate (mm/year) = 0.33047
      - Polarization resistance ( $\Omega$ ) = 39.4830  $\Omega$
      - E Begin (V) = -579.070 mV
      - E End (V) = -575.870 mV
      - $\chi^2$  = 2.6197E-16
      - Iterations = 102
- Linear polarization pH 4 0ppm 250rpm [11/23/201]
  - OCF determination
    - OCF value = -0.555
  - LSV staircase
    - Log(I) vs E
    - Corrosion rate, fit



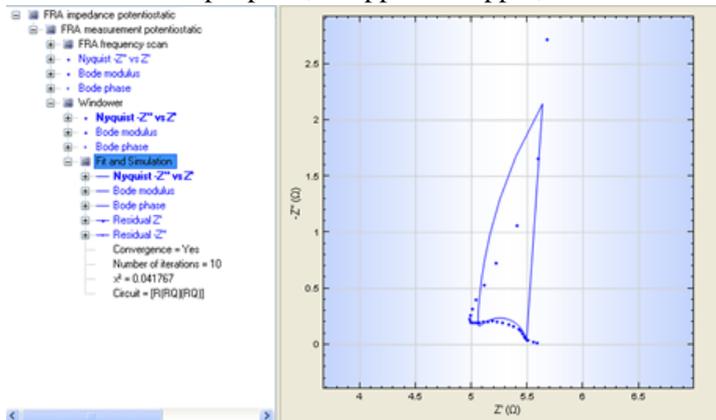
Density (g/cm <sup>3</sup> )	7.86
Equivalent weight (g/mol)	27.925
Surface area (cm <sup>2</sup> )	2.577
Number of significant digits	5
<input type="button" value="Reset"/>	

## 12. Hasil Pengujian EIS

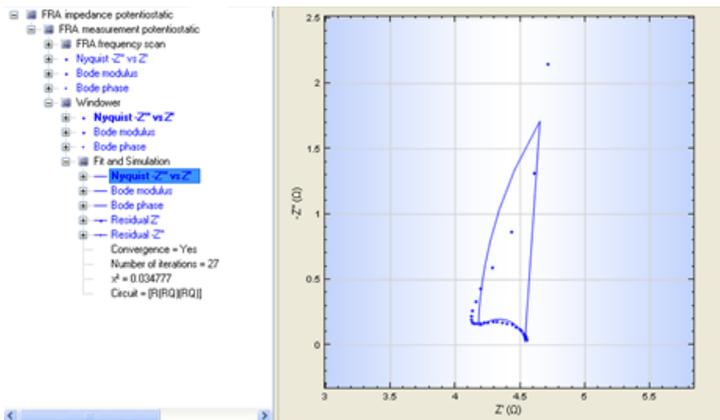
a. pada sampel pH4, 0 ppm, 250 RPM



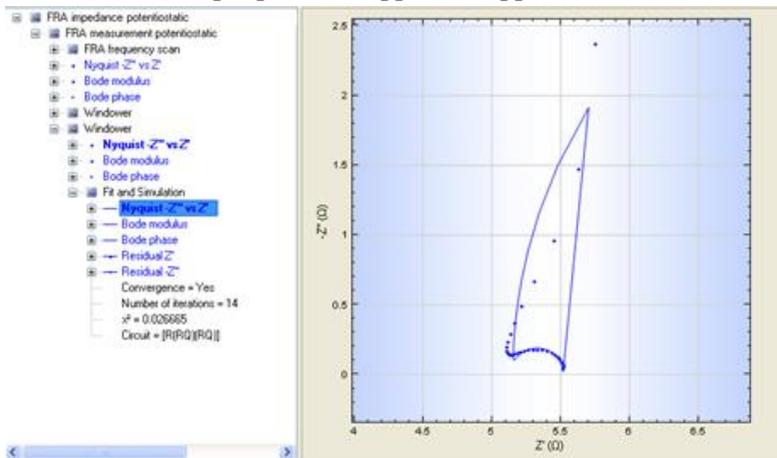
b. Pada sampel pH 4, 200ppm : 100ppm, 250 RPM



c. Pada sampel pH 6, 0 ppm, 150 RPM

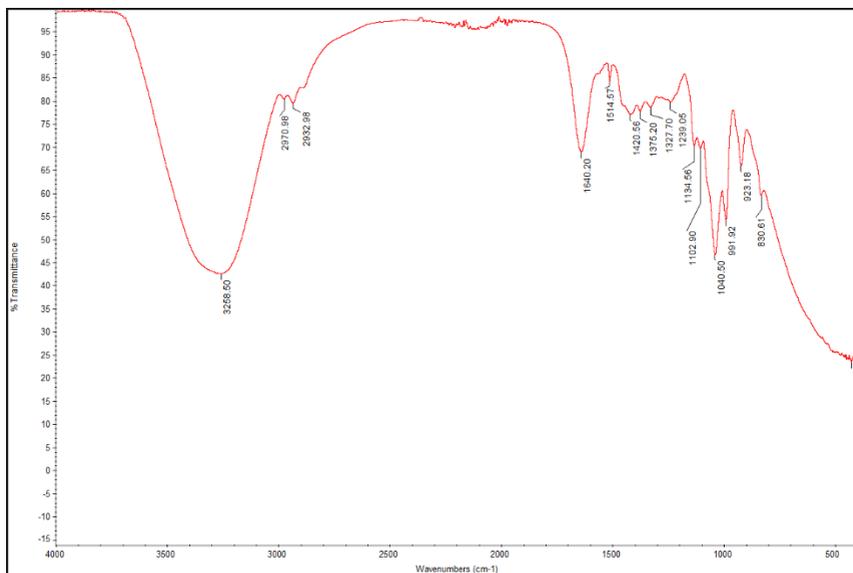


d. Pada sampel pH 6, 200 ppm : 100ppm, 150 RPM

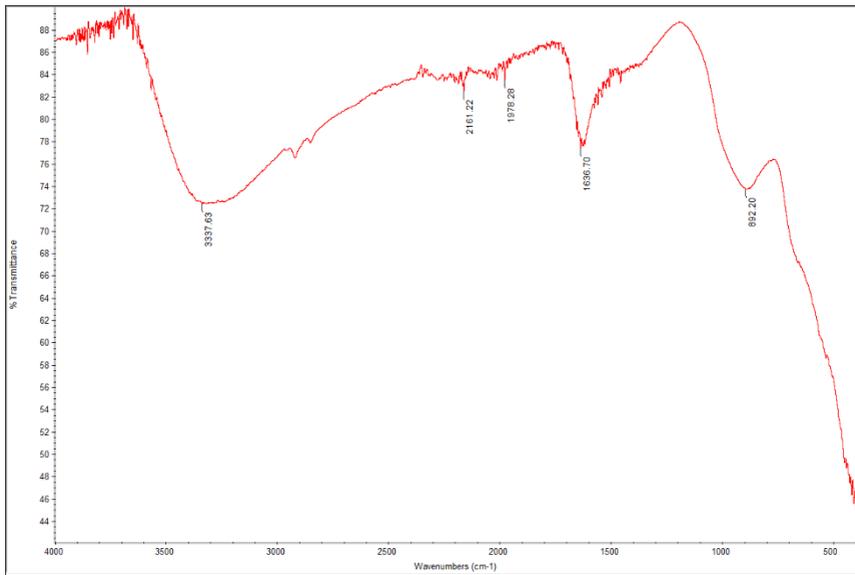


### 13. Hasil Pengujian FTIR

a. Pada bahan inhibitor parasetamol

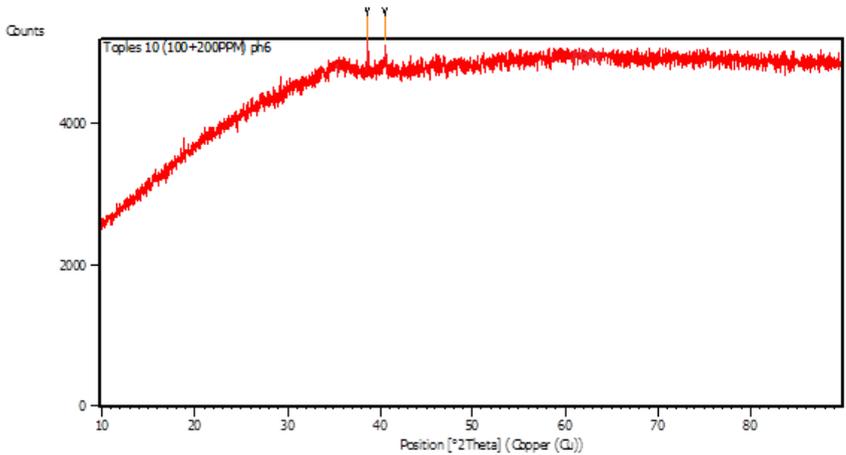


b. Pada spesimen baja ST 41

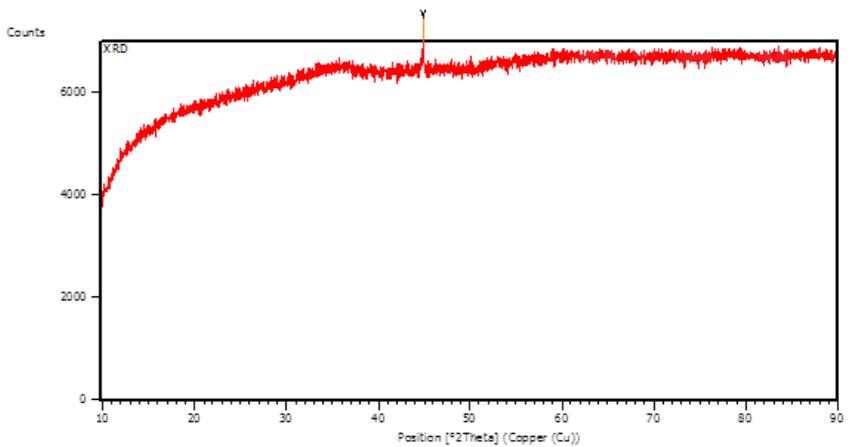


## 14. Hasil Pengujian XRD

a. Pada Baja ST 41 pH 6, 100 ppm : 200ppm, 150 RPM



b. Pada Baja ST 41 pH 6, 200 ppm : 100ppm, 150 RPM





## BIOGRAFI PENULIS

Penulis bernama lengkap Jodie Steven, lahir di Jakarta, 17 Februari 1996 merupakan putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Hardi dan Darni penulis telah menempuh Pendidikan formal di SMP Marsudirini Bekasi dan SMA Marsudirini Bekasi. Penulis melanjutkan Pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Departemen Teknik Material dan Metalurgi melalui jalur undangan SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) 2014. Semasa kuliah, penulis aktif dalam berbagai bidang kemahasiswaan, internasionalisasi, serta kepanitiaan baik di dalam maupun di luar kampus antara lain sebagai Delegasi ITS dalam mengikuti *Winter School* di Istanbul Aydin University di Turki (Januari 2017) , *Student Volunteer* pada divisi hospitality for international student di ITS International Office (2016-2017), *Co-founder NACE Student Chapter* ITS (2017), peserta Studi ekskursi ITS International Office di Singapura, Staff departemen kewirausahaan BEM FTI – ITS 2015-2016, lalu penulis juga pernah menjadi bagian dari COMMTECH (Community and Technological) Camp (sejenis kegiatan *summer school*) dengan peserta dari berbagai negara yang diselenggarakan ITS IO, maupun membantu sertifikasi AUN-QA (Asean University Network – Quality Assurance) di beberapa departemen di ITS. Penulis memiliki pengalaman kerja praktisi atau magang di PT. Petrochina International Jabung sebagai *Facility Engineer Assistant* menangani kasus perbandingan laju korosi CO<sub>2</sub> dengan *software* NORSOK M-502 dan *wall thickness monitoring*. Email penulis adalah [stevenjodie99@gmail.com](mailto:stevenjodie99@gmail.com)