



TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISA PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR, DAN PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR BERBASIS PARASETAMOL DAN IMIDAZOLINE TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ST41 DI LINGKUNGAN CO₂ MENGGUNAKAN *METODE ROTATING DISC ELECTRODE*

Arif Fajar Himawan
NRP 02511340000135

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

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



TUGAS AKHIR - TL 141584

ANALISA PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR, DAN PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR BERBASIS PARASETAMOL DAN IMIDAZOLINE TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ST41 DI LINGKUNGAN CO₂ MENGGUNAKAN METODE ROTATING DISC ELECTRODE

Arif Fajar Himawan
NRP 02511340000135

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

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



FINAL PROJECT - TL 141584

ANALYSIS OF pH EFFECT, ROTATION SPEED, AND COMPARATIVE VOLUME INHIBITOR BASED PARASETAMOL AND IMIDAZOLINE ON CORROSION RATE OF St41 STEEL IN CO₂ ENVIRONMENT USING ROTATING DISC ELECTRODE METHOD

Arif Fajar Himawan
NRP 02511340000135

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

Departement of Material Engineering
Fakulty Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TL 141584

**ANALYSIS OF pH EFFECT, ROTATION SPEED, AND
COMPARATIVE VOLUME INHIBITOR BASED
PARASETAMOL AND IMIDAZOLINE ON CORROSION
RATE OF St41 STEEL IN CO₂ ENVIRONMENT USING
ROTATING DISC ELECTRODE METHOD**

Arif Fajar Himawan
NRP 02511340000135

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

Departement of Material Engineering
Fakulty Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

**ANALISA PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR,
DAN PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR
BERBASIS PARASETAMOL DAN IMIDAZOLINE
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA St41 DI
LINGKUNGAN CO₂ MENGGUNAKAN METODE
ROTATING DISC ELECTRODE**


TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen
Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut
Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Arif Fajar Himawan
Nrp. 02511340000135

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.  (Pembimbing I)

2. Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T.  (Pembimbing II)



**ANALISA PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR,
DAN PERBANDINGAN VOLUME INHIBITOR
BERBASIS PARASETAMOL DAN IMIDAZOLINE
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA ST41 DI
LINGKUNGAN CO₂ MENGGUNAKAN METODE
*ROTATING DISC ELECTRODE***

Nama Mahasiswa : Arif Fajar Himawan
NRP : 02511340000135
Jurusan : Teknik Material Metalurgi
**Dosen Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T**

Abstrak

Percobaan korosi CO₂ telah dilakukan menggunakan metode *Rotating disc electrode*. Fenomena korosi yang sering terjadi pada pipa baja karbon yang digunakan dalam industri pertambangan minyak di sebabkan oleh gas CO₂ dan asam - asam organic yang terlarut dalam air. Untuk menghindari atau memperkecil kerugian yang disebabkan oleh korosi diperlukan adanya suatu pencegahan atau pengendalian korosi, salah satunya dengan penambahan inhibitor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi volume inhibitor parasetamol : imidazoline dan kecepatan putar terhadap laju korosi dengan pengaruh pH 4 dan pH 6 pada baja ST41 di lingkungan yang mengandung gas CO₂. Pada penelitian ini digunakan media elektrolit NaCl 3,5% dengan variasi kecepatan putaran yaitu 100 rpm dan 200 rpm pada pH 4 dan 6 dengan perbandingan volume inhibitor paracetamol : Imidazoline sebesar 20:80, 30:70, 50:50, 70:30, 80:20 dalam satuan persen pada specimen baja ST41 dengan diameter 2 cm

dan tebal 0,5 cm. Untuk mengetahui laju korosi yang terjadi menggunakan metode weight loss dengan alat *Rotating Disc Electrode* (RDE) selama 10 hari. Kemudian digunakan pengujian XRD untuk menganalisa senyawa dari korosi tersebut. Dan pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dari inhibitor dan sampel tersebut. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa berdasarkan uji weight loss telah didapatkan nilai efisiensi tertinggi yaitu pada fraksi 50%:50% pH 4 dan kecepatan putar 100 RPM dengan nilai efisiensi 71%. Sedangkan pada sampel pH 6 efisiensi tertinggi ada pada fraksi 50% : 50% dengan kecepatan putar 100 RPM dengan nilai efisiensi 66%. Pada pengujian FTIR specimen dengan fraksi 50% : 50% pH 4 100 RPM terdapat gugus fungsi dari kedua inhibitor tersebut yaitu N-H, C-H, dan C=O. Pengujian XRD menunjukkan adanya senyawa iron nitride yang terbentuk karena reaksi yang terjadi antara Fe dan atom nitrogen pada *pyridine*.

Kata kunci : *korosi, gas CO₂, pH, kecepatan putar, imidazoline, paracetamol.*

**ANALYSIS OF pH EFFECT, ROTATION SPEED, AND
COMPARATIVE VOLUME INHIBITOR BASED
PARASETAMOL AND IMIDAZOLINE ON
CORROSION RATE OF ST41 STEEL IN CO₂
ENVIRONMENT USING ROTATING DISC
ELECTRODE METHOD**

Student name : Arif Fajar Himawan
NRP : 02511340000135
Departement : Materials Engineering
Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Haniffudin Nurdiansah, S.T., M.T

Abstract

CO₂ corrosion experiments have been performed using Rotating disc electrode method. The frequent corrosion phenomenon in carbon steel pipes used in the oil mining industry is caused by CO₂ gas and organic acids dissolved in water. To avoid or minimize the loss caused by corrosion is required a prevention or control of corrosion, one of them with the addition of inhibitor. The present study used the fraction of the volume of paracetamol inhibitors: imidazoline and rotational velocity against the corrosion rate with the effect of pH 4 and pH 6 on ST41 steels in an environment containing CO₂ gas. In this research used 3.5% NaCl electrolyte media with variation of rotation speed that is 100 rpm and 200 rpm at pH 4 and 6 with ratio of volume of paracetamol inhibitor: Imidazoline 20:80, 30:70, 50:50, 70:30, 80:20 in units per cent on ST41 steel specimens with a diameter of 2 cm and 0.5 cm thick. To know the corrosion rate that happened using weight loss method with Rotating Disc Electrode (RDE) for 10 days.

In addition, XRD testing is used to analyze the compounds of the corrosion. And FTIR testing to determine the functional groups of the inhibitor and the sample. The result of this research shows that based on the weight loss test, the highest efficiency is 50% : 50% pH 4 and 100 RPM rotation efficiency with 71% efficiency. While on the sample pH 6 dental efficiency adapta at fraction 50% : 50% with rotation speed 100 RPM with efficiency value 66%. In the FTIR test in the specimen with a 50% : 50% pH 4 100 RPM fraction there was a functional group of both inhibitors the result is N-H, C-H, dan C=O. XRD testing shows the presence of iron nitride compounds that are formed due to reactions that occur between Fe and nitrogen atoms in pyridine.

Keywords: corrosion, CO₂, pH, rotational speed, imidazoline, paracetamol.

^ KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

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

“ANALISA PENGARUH pH, KECEPATAN PUTAR DAN PERBANDINGAN KONSENTRASI INHIBITOR BERBASIS PARASETAMOL DAN IMIDAZOLINE TERHADAP LAJU KOROSI BAJA St41 DI LINGKUNGAN GAS CO₂ MENGGUNAKAN METODE *ROTATING DISC ELECTRODE*”

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

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua penulis, Bapak Suharno S, sos dan Ibu Komsitin yang selalu mendukung penulis, berupa moral dan material.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen wali penulis yang telah memberikan ilmu, bimbingan dan arahan kepada penulis.

4. Bapak Haniffudin Nurdiansah, ST.,M.T selaku dosen co-pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTIITS.
6. Saudara Gde Doddy rahyudha sebagai rekan kerja penulis dalam menyelesaikan tugas akhir
7. Saudara Dendra ravelia yang telah membantu penulis dalam pengadaan inhibitor korosi *imidazoline*
8. Mas Saddam Hussein yang telah membantu penulis dalam melengkapi penulisan dalam hal paracetamol
9. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
10. Teman-teman angkatan 2013 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
11. Teman teman Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
12. Teman teman tim antasena yang senantiasa membantu penulis
10. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

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

Surabaya, 4 januari 2018

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi CO ₂	5
2.1.1 Mekanisme Korosi CO ₂	5
2.2 Faktor Korosi	7
2.2.1 Pengaruh NaCl pada Korosi	7
2.2.2 Pengaruh pH	9
2.2.3 Laju Aliran Fluida	11
2.3 Laju Korosi	14
2.3.1 Metode <i>Weight Loss</i>	14
2.3.2 Metode Polarisasi	16
2.4 Baja St41	18
2.5 Pencegahan Korosi	19
2.6 Inhibitor Korosi	19
2.6.1 Inhibitor Korosi Katodik	20
2.6.2 Inhibitor Korosi Anodik	21
2.6.3 Inhibitor Korosi Organik	21
2.6.4 Inhibitor Korosi Adsorpsi	22

2.7 Imidazoline	22
2.7.1 Mekanisme Inhibitor Imidazoline	25
2.8 Parasetamol dan Mekanisme Inhibisi	26
2.9 Antioksidan	28
2.10 Penelitian sebelumnya	29

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Diagram Alir	31
3.2 Metode Perancangan	33
3.2.1 Studi Literatur	33
3.2.2 Eksperimen	33
3.3 Alat dan Bahan Percobaan	33
3.3.1 Alat Percobaan	33
3.3.2 Bahan Percobaan	34
3.4 Prosedur Penelitian	34
3.4.1 Preparasi Uji	34
3.4.2 Preparasi Alat	35
3.4.3 Larutan NaCl 3.5%	37
3.4.4 Penambahan Inhibitor Imidazoline dan Parasetamol	37
3.5 Pengujian Pada Percobaan	38
3.5.1 Metode <i>Weight Loss</i>	38
3.5.2 Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i>	41
3.5.3 Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	41

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data	43
4.1.1 Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i>	43
4.1.2 Pengujian FTIR	50
4.1.2 Pengujian XRD	53
4.1.4 Hasil Pengamatan Visual	54
4.2 Pembahasan	55

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan57
5.2 Saran57
DAFTAR PUSTAKA.....xvii
LAMPIRAN.....xxii
BIODATA PENULISxxxiii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daya larut gas CO ₂	5
Tabel 2.2 Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi.....	14
Tabel 2.3 Konstanta Laju Korosi (ASTM G1-03).....	15
Tabel 2.4 Komposisi kimia bahan St41	18
Tabel 2.5 Hasil Analisa FTIR Inhibitor <i>Imidazoline</i>	24
Tabel 3.1 Rancangan Data Uji <i>Weight Loss</i>	39
Tabel 4.1 Data Hasil Uji <i>Weight Loss</i>	43
Tabel 4.2 Hasil Analisa FTIR Inhibitor parasetamol.....	52
Tabel 4.3 Hasil Analisa FTIR specimen	52
Tabel 4.4 Hasil Analisa FTIR	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme korosi CO ₂	7
Gambar 2.2	Pengaruh Konsentrasi NaCl terhadap Laju Korosi pada baja karbon dalam larutan teraerasi	9
Gambar 2.3	Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi	10
Gambar 2.4	Grafik hubungan laju aliran dengan laju korosi CO ₂	12
Gambar 2.5	Kurva Polarisasi	16
Gambar 2.6	Skema molekul imidazoline	23
Gambar 2.7	Hasil FTIR pada inhibitor imidazoline	25
Gambar 2.8	Lapisan Tipis Inhibitor Imidazoline pada Permukaan Logam	26
Gambar 2.9	Struktur parasetamol	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Percobaan	32
Gambar 3.2	Contoh specimen uji	35
Gambar 3.3	Contoh rangkaian alat <i>rotating disc electrode</i>	36
Gambar 3.4	Proses pengujian specimen.....	36
Gambar 3.5	inhibitor imidazoline dan parasetamol.....	38
Gambar 3.6	Alat uji XRD	41
Gambar 4.1	Pengaruh kecepatan putar dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada pH 4	45

Gambar 4.2	Pengaruh Kecepatan Putar dan konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi pada pH 4.....	46
Gambar 4.3	Pengaruh kecepatan putar dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada pH 6	47
Gambar 4.4	Pengaruh Kecepatan Putar dan konsentrasi inhibitor Terhadap Efisiensi Pada pH 6	48
Gambar 4.5	Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi pada kecepatan 100 RPM	49
Gambar 4.6	Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi pada 200 RPM.....	50
Gambar 4.7	Hasil FTIR pada inhibitor parasetamol dan specimen	51
Gambar 4.8	Hasil pengujian XRD	53
Gambar 4.9	Hasil Pengamatan visual pada baja St41 (A) sebelum pencelupan, (B) Pencelupan dengan 0 inhibitor pH6 RPM 100, (C) pencelupan dengan 50:50 pH6 RPM 100	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Korosi CO₂ merupakan korosi yang diakibatkan oleh CO₂ yang terlarut di dalam air yang menimbulkan lingkungan yang bersifat asam (*sweet environment*). (Wahyuadi, 2010). Dalam produksi gas dan minyak, CO₂ merupakan salah satu faktor utama penyebab korosi internal. Karbon dioksida lebih dapat larut dibandingkan gas lainnya di air murni dan menjadi asam karbonat yang mempunyai pH di bawah 6 dimana serangan asam menjadi dominan. Lingkungan asam yang ditimbulkan dari korosi CO₂ ini mengakibatkan laju korosi material yang berada pada lingkungan ini lebih besar. Selain itu, kelarutan gas CO₂ dalam air juga lebih tinggi. Maka dari itu perlu adanya inhibitor yang dapat menghambat laju korosi CO₂.

Korosi yang terjadi pada baja yang digunakan baik dalam industri maupun peralatan rumah tangga dan konstruksi dapat mengakibatkan kerusakan dan kerugian. Untuk menghindari atau memperkecil kerugian yang disebabkan oleh korosi diperlukan adanya suatu pencegahan atau pengendalian korosi, salah satunya dengan penambahan inhibitor. Inhibitor dapat dibagi menjadi dua yaitu inhibitor anorganik dan inhibitor organik.

Imidazoline merupakan salah satu inhibitor organik yang dapat menghambat korosi yang terjadi pada lingkungan CO₂ pada sumur minyak, sumur gas, dan system pipa karena imidazoline memiliki karakteristik adsorpsi yang baik dan memiliki kemampuan yang dapat membentuk lapisan (film) pada permukaan baja dan besi serta lapisan monolayer yang hidrofobik.

Selain imidazoline, inhibitor organik yang digunakan dalam analisa ini adalah obat parasetamol. Menurut penelitian yang dilakukan oleh rakanda pada tahun 2013 disimpulkan penambahan inhibitor obat parasetamol dalam lingkungan 3.5% NaCl dengan pH6 pada temperatur 25°C dan 40°C dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L Grade B. Pada lingkungan dengan temperatur 25°C laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 150

ppm sebesar 0,041 mm/year, sedangkan pada lingkungan dengan temperatur 40°C laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 200 ppm sebesar 0,941 mm/year.

Berdasarkan hal itu, dalam penelitian kali ini peneliti memanfaatkan senyawa antioksidan yang terkandung didalam obat parasetamol (acetaminophen) dan imidazoline sebagai zat inhibitor korosi yang diaplikasikan pada baja ST41 ini sering digunakan pada industri minyak dan gas khususnya pada material perpipaan. Material ST41 pada kondisi lingkungan NaCl 3.5% yang diinjeksikan dengan gas CO₂.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh pH, perbandingan volume inhibitor dan kecepatan putar terhadap laju korosi pada baja ST41 di lingkungan yang mengandung gas CO₂ dengan metode *rotating disc electrode* ?
2. Bagaimana mekanisme inhibisi inhibitor korosi *parasetamol : imidazolin* yang dipengaruhi oleh pH, fraksi volume inhibitor dan kecepatan putar pada baja ST41 di lingkungan yang mengandung gas CO₂ dengan metode *rotating disc electrode*?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Material baja ST41 dianggap homogen dan bebas cacat.
2. Tidak ada perubahan yang terjadi pada temperatur dan volume larutan NaCl 3,5%
3. Tekanan gas CO₂ dari tabung dianggap konstan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa pengaruh pH, Fraksi volume inhibitor dan kecepatan putar terhadap laju korosi pada baja ST41 di lingkungan yang mengandung gas CO₂ dengan *metode rotating disc electrode*
2. Menganalisa mekanisme inhibisi inhibitor korosi *parasetamol : imidazolin* yang dipengaruhi oleh pH, fraksi volume inhibitor dan kecepatan putar pada baja ST41 di lingkungan yang mengandung gas CO₂ dengan metode rotating disc electrode

1.5 Manfaat Penelitian

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

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi CO₂

Korosi CO₂ merupakan korosi yang diakibatkan oleh CO₂ yang terlarut di dalam air yang menimbulkan lingkungan yang bersifat asam (*sweet environment*). (Wahyuadi, 2010)

Gas CO₂ ini tidak bersifat korosif jika berada dalam keadaan kering dan tidak terlarut dalam air. CO₂ yang terlarut di dalam air membentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang merupakan senyawa asam lemah yang sangat mudah terurai. Penguraian senyawa asam karbonat ini memicu terjadinya reaksi oksidasi pada material yang berada pada lingkungan tersebut. Korosi CO₂ ini sangat banyak ditemukan pada material material yang digunakan pada proses produksi dan eksplorasi minyak bumi dan gas alam.

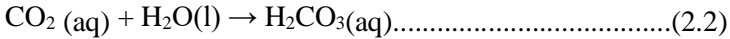
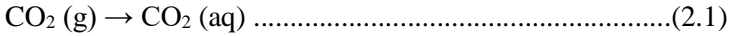
Dalam produksi gas dan minyak, CO₂ merupakan salah satu faktor utama penyebab korosi internal. Karbon dioksida lebih dapat larut dibandingkan gas lainnya di air murni dan menjadi asam karbonat yang mempunyai pH di bawah 6 dimana serangan asam menjadi dominan. Lingkungan asam yang ditimbulkan dari korosi CO₂ ini mengakibatkan laju korosi material yang berada pada lingkungan ini lebih besar. Selain itu, kelarutan gas CO₂ dalam air juga lebih tinggi. Hal ini juga mengakibatkan laju korosi material pada lingkungan yang mengandung CO₂ lebih besar. Kemampuan daya kelarutan gas CO₂ dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daya larut gas CO₂

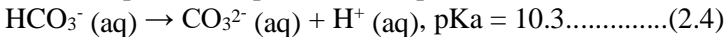
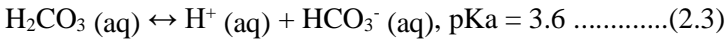
Temperature (C°)	0	10	20	30	40	50	60
CO ₂ (g/L)	3.36	2.35	1.72	1.31	1.04	0.86	0.71

2.1.1 Mekanisme Korosi CO₂

Secara umum, CO₂ yang terlarut dalam air terhidrasi dan pada tahapan selanjutnya membentuk senyawa asam karbonat dengan reaksi sebagai berikut: (Iandiano, 2010).

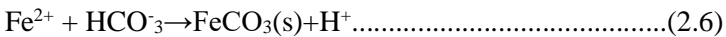
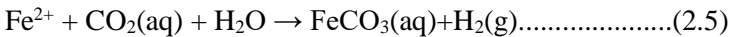


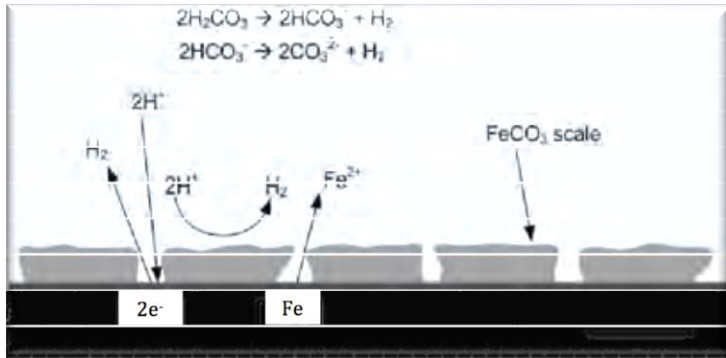
Asam karbonat terbentuk terdisosiasi menjadi *bicarbonate* dan ion karbonat melalui 2 tahap, dimana setiap tahapan menghasilkan ion hidrogen dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Korosi CO₂ pada intinya merupakan masalah korosi yang disebabkan oleh asam karbonat. CO₂ menjadi bersifat korosif akibat adanya air sehingga membentuk asam karbonat. Asam karbonat ini sendiri merupakan asam lemah, dimana pada perubahan temperatur kamar kurang dari 0,1 % saja asam karbonat ini terdisosiasi dengan reaksi 2.1 dan 2.2. Jika korosi CO₂ dapat dikategorikan sebagai korosi yang diakibatkan oleh asam lemah, dimana baja terkorosi akibat reduksi dari H⁺ dan oksidasi dari Fe, seharusnya dari reaksi di atas tingkat korosif dari CO₂ sangat lemah, hal ini dikarenakan tingkat disosiasi yang rendah. Namun nyatanya, tingkat korosif dari asam karbonat adalah lebih tinggi dari nilai dari reaksi diatas. Pada pH tertentu, korosi yang terjadi pada baja lebih banyak disebabkan oleh larutan cair yang mengandung CO₂. (Permadi, 2011)

Secara umum persamaan reaksi yang terjadi pada korosi yang diakibatkan oleh gas CO₂ yang terlarut dalam air adalah sebagai berikut: (Permadi, 2011)





Gambar 2.1 Mekanisme Korosi CO₂. (S. Nassic, 2003)

Kedua reaksi katoda di atas merupakan reaksi yang mempengaruhi total arus katodik pada korosi CO₂. Reaksi yang terjadi tergantung dari lingkungan korosif yang ada pada permukaan logam. Pada pH rendah (<4), reduksi hidrogen adalah reaksi katodik yang dominan. Sedangkan pada pH yang lebih tinggi (>4) reaksi reduksi langsung asam karbonat menjadi lebih dominan. Dari reaksi korosi yang terjadi, dihasilkan FeCO₃ sebagai produk korosi. (S. Nassic, 2003)

2.2. Faktor Korosi

2.2.1 Pengaruh Konsentrasi NaCl pada Korosi

Larutan NaCl banyak digunakan pada berbagai macam pengujian korosi yang bertujuan untuk mensimulasikan logam pada kondisi yang sebenarnya pada lingkungan air laut. Korosi yang terjadi pada larutan NaCl disebabkan karena adanya anion dan kation dari larutan NaCl yang meningkatkan konduktivitas larutan tersebut. Sehingga, elektron semakin mudah untuk bergerak dari anoda menuju ke katoda.

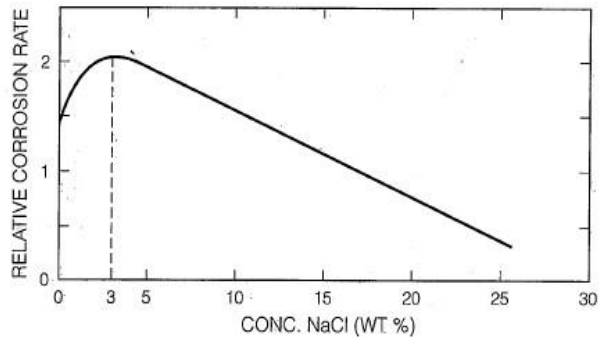
Laju korosi meningkat jika konsentrasi larutan NaCl naik, sebaliknya laju korosi turun jika lama elektroplating mengalami kenaikan. Lapisan nikel Ni menurunkan laju korosi secara signifikan. Laju korosi logam dasar naik dari 44,63 mpy menjadi 90,76 mpy apabila konsentrasi larutan NaCl naik dari 0,2 menjadi

1,0 %. Laju korosi terendah sebesar 8,08 mpy untuk lama elektroplating 15 menit dan konsentrasi larutan NaCl sebesar 0,2 % (victor, 2011).

Menurut indah (2006) semakin tinggi konsentrasi NaCl semakin tinggi pula laju korosi pada masing-masing lapisan. Laju korosi tertinggi pada lapisan Zn, FeZn dan Fe masing-masing yaitu 60,8237mpy, 5,4666 mpy dan 25,7589 mpy. Lapisan paduan FeZn memiliki laju korosi terendah daripada lapisan Zn dan Fe.

Konsentrasi NaCl juga berpengaruh terhadap kelarutan oksigen pada larutan. Semakin tinggi kelarutan NaCl, maka kelarutan oksigen semakin berkurang. Sehingga, mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada logam pada larutan NaCl teraerasi. Pada larutan dengan kadar NaCl 3 % sampai dengan 3,5 % merupakan laju korosi maksimum pada larutan NaCl. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 2.2 yang menunjukkan pengaruh konsentrasi NaCl pada laju korosi. (Jones, 1996)

Selain itu menurut latief 2012 dkk didapatkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi larutan NaCl maka semakin tinggi pula laju korosi terjadi baik pada pengujian polarisasi ataupun imersi. Hasil pengujian polarisasi didapatkan laju korosi terendah terdapat pada larutan NaCl 3% yaitu Plat M sebesar 3.0671 mpy, dan yang tertinggi terdapat pada larutan NaCl 5% plat T sebesar 10.39 mpy, sedangkan pada pengujian imersi didapatkan laju korosi terendah pada larutan NaCl 3% yaitu plat M sebesar 0.9149 mpy untuk lama pencelupan 240 jam dan yang tertinggi terdapat pada larutan NaCl 5% plat T 3.4161 mpy untuk lama pencelupan 80 jam



Gambar 2.2 Pengaruh Konsentrasi NaCl(Jones, 1996)

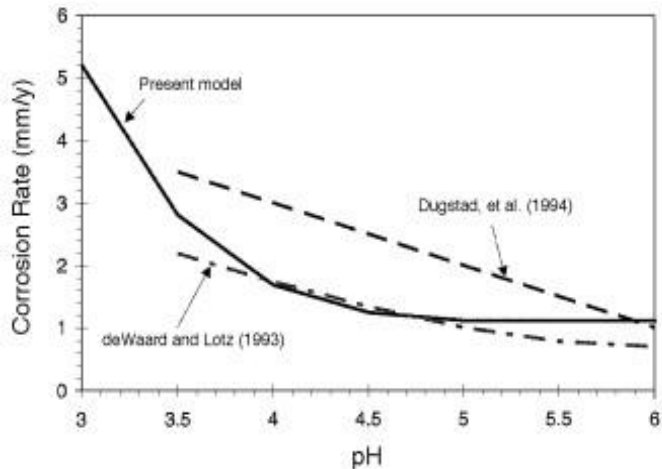
2.2.2 Pengaruh pH

pH merupakan suatu larutan yang didefinisikan sebagai logaritma negatif dari konsentrasi ion hidrogen (dalam mol per liter). Skala pH ($\text{pH} = \text{potenz Hydrogen}$) yang dikenalkan oleh sorenson ahli kimia denmark pada tahun 1909. pH menyatakan konsentrasi H^+ yang ada di dalam larutan. Harga pH berkisar antara 0 sampai 14. Berdasarkan teori asam basa arhenius, suatu larutan dapat bersifat asam, basa atau netral tergantung pada konsentrasi ion H^+ atau ion OH^- dalam larutan tersebut. Larutan bersifat asam apabila konsentrasi H^+ lebih dominan dari konsentrasi ion-ion yang lain, larutan bersifat basa jika konsentrasi ion OH^- lebih dominan dari konsentrasi ion yang lainnya dan suatu larutan memiliki sifat netral jika konsentrasi H^+ dan konsentrasi OH^- dalam larutan sama banyak. Laju korosi baja karbon pada suhu kamar dapat berubah, cukup dengan perubahan pH larutan. Dalam sistem korosi karbondioksida, ketika pH larutan kurang dari 4, ion H^+ yang ada membuat reduksi H^+ mendominasi padareaksi katodik. Laju korosi sensitif pada pH rendah. (chang, 2005)

Pada Gambar 2.3 menjelaskan bahwa yang mempengaruhi proses korosi baja adalah pH (tingkat keasaman). Semakin rendah pH ($\text{pH} < 4$) maka kemungkinan baja tersebut terkorosi semakin besar karena daerah logam terurai menjadi ion logam berada dilingkungan asam. Sedangkan pada daerah pH 4-10, tidak

tergantung pada pH, namun tergantung pada cepat lambatnya difusi oksigen ke permukaan logam. Pada daerah asam ($\text{pH} \leq 4$) deposit besi oksida terlarut, pH menurun, dan baja kontak langsung dengan larutan. Sedangkan pada pH di atas 10, laju korosi berkurang sebab baja membentuk lapisan pasif di permukaannya.

Pada korosi CO_2 , pH menentukan reaksi dominan yang terjadi. Pada pH rendah (<4), reaksi reduksi hidrogen merupakan reaksi yang dominan. Sedangkan pada pH tinggi (>4), reaksi yang dominan adalah reduksi langsung dari asam karbonat. Dalam korosi CO_2 , pH lingkungan juga mempengaruhi pembentukan lapisan produk korosi (FeCO_3). (Johnsen, 2004). Korosi CO_2 sangat mudah terbentuk pada pH tinggi. Pada pH tinggi kelarutan dari FeCO_3 menurun sehingga mengakibatkan peningkatan laju pengendapan dari lapisan FeCO_3 . Pembentukan lapisan FeCO_3 yang cepat berpengaruh terhadap laju korosi baja karbon dalam lingkungan CO_2 .



Gambar 2.3 Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi (Nesic, 1996)

2.2.3 Laju Aliran Fluida

Saat produk korosi besi karbonat (FeCO_3) maupun lapisan tipis akibat penambahan inhibitor sudah terbentuk, laju alir dapat merusak lapisan produk korosi besi karbonat maupun lapisan tipis

akibat penambahan inhibitor. Akibatnya, korosi menyerang bagian permukaan yang mengalami kerusakan lapisan pelindung, sehingga korosi yang terjadi adalah korosi setempat seperti korosi sumuran (*pitting corrosion*). (Pandyo, 2012). Profil laju alir fluida dapat diketahui apakah laminar atau turbulen dengan menggunakan bilangan Reynold. Perhitungan untuk menentukan bilangan Reynold adalah sebagai berikut

$$RE = U_{cyl} d_{cyl} \rho / \mu \dots\dots\dots(2.7)$$

RE = Bilangan Reynold

ρ = Berat Jenis Larutan (gr/cm³)

μ = Viskositas Larutan (gr/cm s)

d_{cyl} = Diameter Luar Sampel (cm)

U_{cyl} = Kecepatan Linear dari Permukaan Luar (cm/s)

Kecepatan linear dari permukaan luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$U_{cyl} = \omega r_{cyl} = \pi d_{cyl} F / 60 \dots\dots\dots(2.8)$$

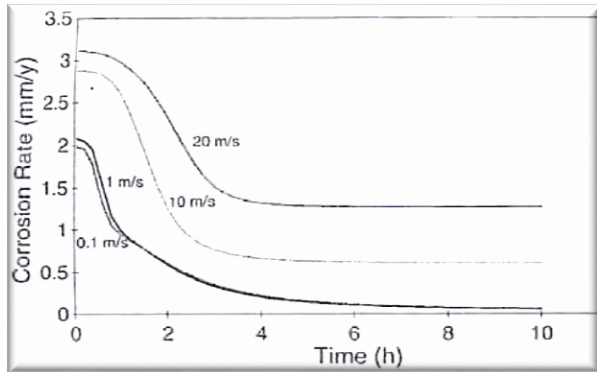
ω = Kecepatan Putar (rad/s)

r_{cyl} = Jari-jari sampel (cm)

F = Kecepatan Putar (RPM)

Pada laju aliran yang cukup tinggi, lapisan proteksi yang terbentuk pada permukaan logam semakin sedikit. Pada lingkungan dengan laju aliran yang sangat tinggi, terjadi kerusakan dan terlepasnya lapisan proteksi. Hal ini dapat meningkatkan laju korosi

baja pada lingkungan tersebut. Selain itu, jika kerusakan lapisan pelindung ini terjadi dapat menimbulkan korosi setempat (localized corrosion), seperti korosi sumuran (pitting corrosion) pada permukaan baja. Pengaruh laju aliran terhadap laju korosi CO₂ dapat dilihat pada Gambar 2.4. (Castaneda, 2004)



Gambar 2.4. Grafik hubungan laju aliran dengan laju korosi CO₂. (Castaneda, 2004)

Pada penelitian kali ini laju korosi diuji menggunakan metode rotating disc electrode. Dimana peralatan RDE terdiri dari unit berputar yang digerakkan oleh motor yang dilekatkan pada pemegang sampel. Sampel uji berbentuk disc dengan tengah berlubang. Sambungan elektrokimia pada elektroda dibuat dengan menggunakan kontak kuas. Tingkat korosi berada diukur dengan menggunakan instrumen elektrokimia konvensional. Permukaan RDE dapat dicapai secara merata. Alat ini adalah salah satu dari sedikit sistem konvektif yang sudah terselesaikan dengan persamaan mekanika fluida dengan kondisi kerapatan *steady-state*. batas kerapatan arus (*i_d*) pada RDE didapatkan oleh

$$i_d = 0.62n F C D^{2/3} v^{-1/6} \omega^{1/2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

- n : Jumlah electron
- F : Konstanta faraday
- C : Konsentrasi reaktan (atau produk)

- D : koefisien difusi reaktan (atau produk)
- V : viskositas kinematik
- $\vec{\omega}$: kecepatan sudut

Persamaan diatas dapat diterapkan hanya pada kondisi aliran laminar. Pada kecepatan rotasi yang lebih tinggi, Aliran pada RDE berubah dari laminar ke turbulen. Hubungan hidrodinamik telah diturunkan untuk menghubungkan RDE dan sistem lainnya, misalnya, aliran dalam pipa. Hubungan antara RDE di bawah kondisi laminar dan dalam kondisi pipa.

$$Re_p = 79(d/r_o)(e/d)^{-0,15}Sc^{-1/6}Re_D^{1/2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

- Re_D : Bilangan Reynolds untuk disc yang berputar
- Re_p : Bilangan Reynolds untuk pipa
- d : Diameter pipa
- e : Kekasaran dinding pipa
- r_o : Jari-jari rotasi disc
- Sc : Nomor Schimdt

Hanya beberapa verifikasi eksperimental dari persamaan ini yang telah dilakukan, dan untuk alasan ini, RDE belum banyak digunakan untuk evaluasi inhibitor. Sistem elektroda berputar sekarang tersedia untuk studi di bawah kondisi yang mengalir pada suhu dan tekanan tinggi. (Papavinasam, 1999)

2.3. Laju korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan mils per year (mpy). Satu mils adalah setara dengan 0,001 inchi (Fontana et al, 1986). Perhitungan laju korosi dapat menggunakan metode weight loss maupun melalui kurva tafel. Berikut ini adalah perbandingan laju korosi dari berbagai macam satuan. Semakin tinggi nilai laju korosi, maka korosi yang terjadi semakin cepat. (Jones, 1996).

Tabel 2.2 Hubungan Laju Korosi dan Ketahanan Korosi.
(Callister,2003)

Ketahanan Korosi Relati	Laju Korosi				
	mpy	mm/yr	$\mu\text{m/yr}$	nm/hr	pm/s
Sangat baik	<1	< 0,02	< 25	<2	<1
Baik	1-5	0,02 – 0,1	25 - 100	2 – 10	1 -5
Cukup	5 -20	0,1 – 0,5	100 - 500	10 – 50	20 - 50
Kurang	20 – 50	0,5 – 1	500 - 1000	50 – 150	20 - 50
Buruk	50 – 200	1 -5	1000 - 5000	150 – 500	50 - 200

2.3.1 Metode Kehilangan Berat (*weight loss*)

Metode yang paling umum untuk mengetahui laju korosi adalah dengan menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*) dengan menggunakan sampel (*corrosion coupon*) yang direndam ke dalam lingkungan korosi. Metode ini didasarkan pada perbedaan berat antara sebelum sampel dimasukkan ke dalam lingkungan korosi dan setelah sampel dimasukkan ke dalam lingkungan korosi. Pada umumnya sampel dapat berupa segi empat maupun dalam bentuk lingkaran. Preparasi sampel dilakukan untuk menghilangkan lapisan oksida yang menempel pada permukaan sampel. Preparasi 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 : (Paksi, 2015). Dalam penentuan laju

korosi suatu logam, maka digunakan persamaan berikut ini :

$$CR = \frac{K \cdot W}{D \cdot A \cdot T} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

W = Berat yang hilang (gram)

D = Berat jenis logam (gram/cm³)

A = Luas permukaan kontak (cm²)

T = Waktu paparan (jam)

K = Konstanta laju korosi

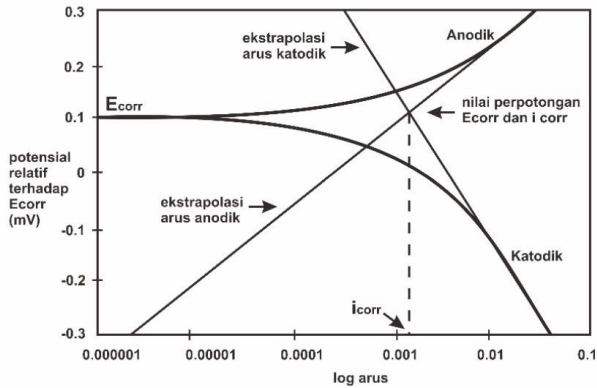
Tabel 2.3 Konstanta Laju Korosi (ASTM G1-03)

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

2.3.2 Metode Polarisisasi

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

negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik. Pengujian polarisasi tafel ini menghasilkan grafik ekstrapolasi yang menginformasikan beberapa data, salah satunya adalah laju korosi keika diolah dengan software.



Gambar 2.5. Kurva Polarisasi (Rahman, 2016)

Untuk menghitung laju korosi dari kurva polarisasi dapat menggunakan software Nova atau dengan menggunakan persamaan. Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam menentukan laju korosi dan laju kehilangan massa.

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2,303(b_a + b_c)} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

B = Stern-Geary constant (V)

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

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

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

$$I_{cor} = \frac{B}{R_p} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

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

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

Kemudian dilakukan perhitungan corrosion rate dengan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \cdot (i_{cor}/\rho) \cdot EW \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

CR = corrosion rate (mpy)

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

ρ = densitas logam (g/cm^3)

EW = equivalent weight (g/mol)

$$MR = K_2 \cdot i_{cor} \cdot EW \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

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

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

2.4. Baja St41

Baja St 41 adalah baja yang memiliki kadar karbon 0,16 %, karena kadar karbonnya kurang dari 0,30 % maka baja ini termasuk golongan baja karbon rendah dan mempunyai regangan sebesar 36-24 % (Wiryosumarto, 2004). Baja karbon rendah ini tidak dapat langsung dikeraskan karena kadar karbonnya kurang dari 0,3% untuk itu perlu dilakukan proses carburizing untuk meningkatkan kadar karbonnya sehingga nantinya dapat dikeraskan. Makna dari penamaan St.41 sendiri adalah dari St memiliki arti baja (Stahl), angka 41 dalam baja ini menunjukkan bahwa minimum ketangguhan putus-tarik adalah 41 kg/mm². Ketangguhan tarik juga dibatasi keatas yaitu umumnya St.41 \leq 50 kg/mm² (Suherman, 1987).

Pipa Baja ST41 adalah baja karbon yang paling banyak dipakai untuk pipa air di bidang industri. Namun demikian dari berbagai macam aplikasi baja karbon, terdapat satu permasalahan yang cukup besar dalam pengembangannya, yaitu korosi. Korosi tidak dapat dicegah namun dapat dikendalikan. Banyak hal yang dapat dilakukan untuk melindungi dari serangan korosi salah satunya dengan menambahkan *inhibitor*. Berikut saya tampilkan tabel komposisi kimia untuk spesimen ST 41 (Baja konstruksi dengan *tensile strength* 40 kg/mm²)

Tabel 2.4. komposisi kimia baja st41(nizam,2014)

No.	Nama Unsur (simbol)	Persentase (%)
1	Besi (Fe)	98,985
2	Mangan (Mn)	0,6
3	Karbon (C)	0,10
4	Silikon (Si)	0,25
5	Fosfor (P)	0,03
6	Belerang (S)	0,035

2.5. Pencegahan Korosi

Proses korosi dapat dicegah dengan melihat berbagai aspek yang mempengaruhi proses korosi tersebut. Aspek-aspek dalam pencegahannya yaitu:

a. Seleksi Material

Metode yang sering digunakan dalam pencegahan korosi yaitu seleksi material dengan pemilihan logam atau paduan yang ditempatkan dalam suatu lingkungan korosif tertentu. Logam atau material memiliki sifat tertentu, terutama untuk tahan korosi.

b. Proteksi katodik

Proteksi katodik adalah jenis perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang mempunyai potensial lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimia dengan logam berpotensi rendah bersifat katodik dan terproteksi.

c. Pelapisan (coating)

Prinsip umum dari pelapisan yaitu melapisi logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung. Jenis-jenis pelapisan sebagai pelindung proses korosi dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu pelapisan organik, anorganik dan logam.

d. Perubahan media dan inhibitor

Perubahan media lingkungan bertujuan untuk mengurangi dampak korosi. Parameter-parameter umum yaitu penurunan temperature, penurunan laju alir larutan elektrolit, menghilangkan unsur oksigen atau oksidiser, perubahan konsentrasi dan inhibitor (Priyotomo, 2008).

2.6. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi digunakan pada berbagai industri minyak dan gas bumi untuk mengurangi laju korosi pada baja karbon. Penambahan inhibitor korosi banyak digunakan karena harganya yang relatif murah dan metode penggunaannya lebih fleksibel. Inhibitor korosi dapat melekat pada permukaan logam dan membentuk penghalang terhadap penyebab korosi yang menyerang logam. Efisiensi penggunaan inhibitor korosi bergantung pada seberapa besar interaksi antara inhibitor dan permukaan logam. (Zhang, 2007). Inhibitor bekerja untuk mengurangi laju korosi dengan berbagai cara yaitu :

- a. Memodifikasi polarisasi katodik dan anodik (tafel slope)
- b. Mengurangi pergerakan ion menuju ke permukaan logam
- c. Meningkatkan tahanan di permukaan logam

Efisiensi penggunaan inhibitor dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$IE = \frac{CRo - CR1}{CR} \times 100 \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana :

- IE = Efisiensi Inhibitor (%)
- CRo = Laju Korosi Tanpa Inhibitor (mpy)
- CR1 = Laju Korosi dengan Inhibitor (mpy)

Banyak tipe inhibitor korosi untuk berbagai keperluan. Secara umum inhibitor korosi di bagi atas dua katagori yakni inhibitor organik dan anorganik. Inhibitors anorganik sering dipakai untuk *air cooling tower*, pendingin/pemanas. Secara umum inhibitor korosi di bagi atas beberapa katagori yakni;

1. Inhibitor korosi katodik
2. Inhibitor korosi anodik
3. Inhibitor korosi organik
4. Inhibitor korosi adsorpsi

(Febrianto,2010).

2.6.1 Inhibitor Korosi Katodik

Inhibitor katodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi katodik. Inhibitor katodik membentuk senyawa tak larut yang mengendap pada katodik dengan membentuk lapisan penghalang. Senyawa yang biasa dipakai sebagai inhibitor katodik;

1. Garam kalsium (kalsium karbonat, kalsium fosfat)
2. Garam magnesium
3. Poli fosfat

(Febrianto,2010).

2.6.2 Inhibitor Korosi Anodik

Inhibitor anodik menurunkan laju korosi dengan cara memperlambat reaksi anodik. Inhibitor korosi anodik menggeser kesetimbangan proses korosi ke daerah pasif yang menyebabkan pembentukan film pasif oksida yang tidak kelihatan pada daerah anodik yang memicu kenaikan potensial anoda dan menekan proses

oksidasi. Berkurangnya daerah anodik yang efektif menyebabkan turunnya laju korosi. Inhibitor korosi anodik mempunyai kelemahan, bila konsentrasi inhibitor dibawah minimal yang dibutuhkan kemungkinan permukaan material ada yang tidak terlapsi sehingga menyebabkan terjadinya tempat anodik baru yang bisa meningkatkan laju korosi. Inhibitor korosi anodik memerlukan dosis yang cukup untuk melapsi permukaan dalam dari sistem dan sedikit dosis lebih untuk menjaga lapisan yang terbentuk. Senyawa dibawah ini biasa digunakan sebagai inhibitor anodic:

1. Kromat (CrO_4^{2-})
2. Nitrit (NO_2^{2-})
3. Molibdat (MoO_4^{2-})
4. Ortofosfat (PO_4^{3-})

(Febrianto,2010).

2.6.3 Inhibitor Korosi Organik

Inhibitor organik sering dipakai untuk *cooling tower*, pendingin/pemanas. Inhibitor korosi organik paling umum digunakan di *oil field*. Inhibitor ini kebanyakan membentuk lapisan film organik. Inhibitor ini merupakan senyawa organik yang mempunyai bagian kepala yang polar dan bagian lainnya merupakan hidrokarbon rantai panjang. Inhibitor korosi organik biasanya berupa garam logam yang berperan mempasifkan permukaan logam. Inhibitor korrosi organik pemakaiannya agak terbatas karena memerlukan konsentrasi yang tetap, pH yang sensitif dan kadang tidak efektif dengan adanya klorida. (febrianto, 2010)

2.6.4 Inhibitor Korosi Adsorpsi

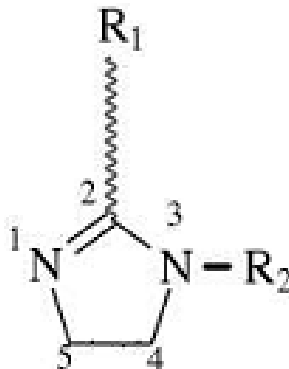
Inhibitor korosi adsorpsi menurunkan laju korosi disebabkan polarisasi logam dengan lapisan tipis dari molekul inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan. Berkurangnya luas permukaan efektif bisa menurunkan laju korosi. Molekul inhibitor adsorpsi mampu membentuk chemisorbed bonds dengan atom logam

pada permukaannya Senyawa yang biasa dipakai sebagai inhibitor adsorpsi;

1. Amin ($R-NH_2$)
2. Karboksil ($R-COOH$)
3. Thiourea (NH_2CSNH_2)
4. Fosfonat ($R-PO_3H_2$)
5. Benzonat ($C_6H_5COO^-$)
6. Antimoni triklorida ($SbCl_3$)

2.7 Imidazoline

Inhibitor berbasis imidazolin (IM) paling sering digunakan untuk melindungi jaringan pipa dari korosi CO_2 karena karakteristik adsorpsi yang baik dan kemampuannya untuk membentuk film pada permukaan logam. Struktur molekul IM dapat dilihat seperti yang pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Skema molekul imidazoline (Ahmad, 2014).

Senyawa imidazoline adalah senyawa organik yang memiliki dua atom nitrogen yang terikat dalam 5 cincin, stuktur molekul dari senyawa imidazoline umumnya memiliki 3 bagian berbeda, diantaranya lima cincin atom dengan dua nitrogen atom, rantai pendent sebagai gugus hidrofilik dan rantai panjang hidrokarbon sebagai gugus hidrofobik. Panjang rantai hidrokarbon (R_1) membentuk lapisan hidrofobik dalam larutan yang

menghalangi kontak antara media korosif dan permukaan logam. Demikian juga dikenal sebagai rantai bercabang hidrofobik. Rantai sisi liontin dengan kelompok fungsional aktif (R2) juga disebut sebagai hidrofilik rantai bercabang. Ini kebanyakan mengandung nitrogen, oksigen dan heteroatom lainnya, yang bisa berakibat stabil adsorpsi kimia di permukaan. Turunan IM berlaku sebagai surfaktan kationik, yaitu ditentukan oleh sifat gugus hidrokarbon atau substituen yang terikat pada atom karbon atau nitrogen cincin IM (Ahmad,2014).

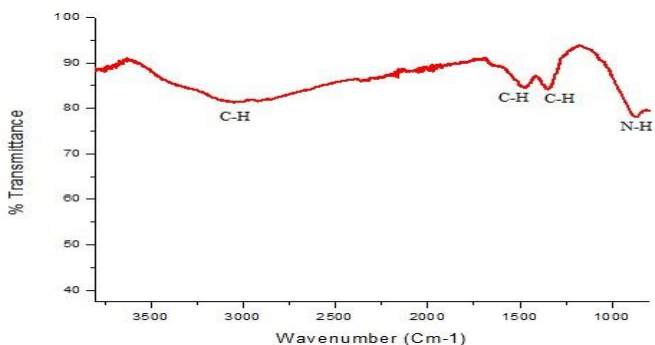
Dari hasil analisa FTIR yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya pada Tabel 2.5 terdapat beberapa gugus fungsi yang sesuai dengan struktur molekul dari inhibitor *imidazoline*. Gugus fungsi tersebut adalah *amine* (N-H), *aromatic rings* (C=N), *aromatics* (C stretch in ring), dan *aromatic amines* (C-N).

Kemudian untuk hasil pengujian FTIR pada sampel baja AISI 1045 yang telah direndam selama sepuluh hari dengan pemberian konsentrasi inhibitor 200 ppm dan kecepatan putar 150 RPM pada pH 7 adalah pada Gambar 2.7

Tabel 2.5 Hasil Analisa FTIR Inhibitor *Imidazoline* (Dendra, 2017)

Wavenumber (cm ⁻¹)	Range Wavenumber (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
3290,07	3400-3250	N-H	1°, 2° Amines, amides
2966	3000-2850	C-H	Alkanes
2924,65	3000-2850	C-H	Alkanes
2854,65	3000-2850	C-H	Alkanes
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-Br	Alkyl Halides
614,81	690-515	C-Br	Alkyl Halides



Gambar 2.7 Hasil FTIR pada inhibitor imidazoline (Dendra, 2017)

2.7.1. Mekanisme inhibitor imidazoline

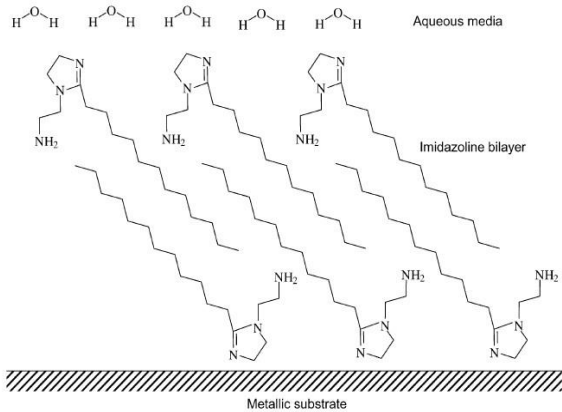
Senyawa imidazolin yang digunakan dalam inhibitor korosi dengan mekanisme kerja secara adsorpsi dimana inhibitor adsorpsi mengurangi laju korosi berdasarkan polarisasi dari logam dengan membentuk lapisan tipis. Teori yang umum menjelaskan mekanisme imidazoline sebagai inhibitor menyatakan bahwa electron bebas dari gugus amina pada sisi aktif (R2) yang menjalankan peran sebagai molekul yang mengadsorpsi dan berikatan dengan permukaan logam. Rantai panjang hidrokarbon

(R2) merupakan gugus hidrofobik dan menjadi jembatan molekul pada permukaan sebagai barrier pada air dan produk korosi. Pada kasus adsorpsi ke permukaan logam yang mengandung orbital tak penuh, inhibitor organik seperti imidazolin menjadi donor dan ion logam bertindak sebagai akseptor proton. Kekuatan adsorpsi yang terjadi tergantung pada densitas elektronik adsorpsi. (Nuraini, 2016).

Pada Gambar 2.6 adalah struktur molekul dari inhibitor berbasis *imidazoline*. Mekanisme kerja dari inhibitor korosi berbasis *imidazoline* dapat digambarkan sebagai berikut :

- Pada gugus utama yang memiliki 5 cincin mendorong terbentuknya ikatan molekul yang kuat ke permukaan logam dan menghasilkan susunan lapisan yang terdiri dari satu atau lebih lapisan (layer).
- Pasangan molekul tunggal pada bagian Cincin yang terjadi pada nitrogen dan R2 dapat membantu meningkatkan adsorpsi ke permukaan logam, sehingga meningkatkan kemampuan inhibisi korosi
- Rantai hidrokarbon pada R1 menyelimuti permukaan logam sehingga permukaan logam bersifat hidrofobik.

Ekor hidrokarbon non polar dari molekul inhibitor ini berada secara vertikal terhadap permukaan logam seperti pada Gambar 2.8. Rantai hidrokarbon molekul inhibitor ini saling menangkap membentuk lapisan seperti jaring tertutup yang menolak fasa cair yang disebabkan sifat dari karakter hidrofobik. (Lopez, 2004)

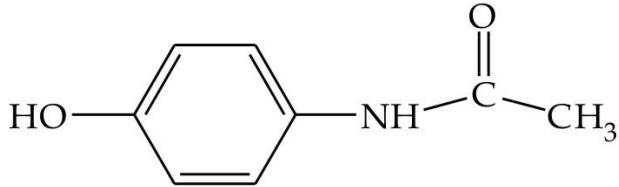


Gambar 2.8 Lapisan Tipis Inhibitor Imidazoline pada Permukaan Logam (Lopez, 2004)

2.8. Parasetamol dan Mekanisme Inhibisi

Parasetamol adalah obat analgesik dan antipiretik yang populer di masyarakat luas, bahkan mungkin dapat dikategorikan sangat terkenal. Parasetamol sangat mudah didapatkan secara bebas di warung-warung, apotek, rumah sakit dan semua sarana pelayanan kesehatan lainnya. Obat ini terkenal dimasyarakat sebagai pelega sakit kepala, sakit ringan, serta demam.

Parasetamol merupakan senyawa fenolik yang dapat mencegah reaksi oksidasi yang disebabkan oleh radikal bebas, sehingga reaksi berantai oleh radikal bebas dapat terhenti. Berbeda dengan obat analgesik yang lain seperti aspirin dan ibuprofen, parasetamol tak memiliki sifat antiradang. Dalam dosis normal, parasetamol tidak menyakiti permukaan dalam perut atau mengganggu gumpalan darah, ginjal, atau duktus arteriosus pada janin.



Asetaminofen

Gambar 2.9 struktur parasetamol (Ardiyanti, 2014)

Parasetamol (acetaminophen) adalah antipiretik yang banyak digunakan dan analgesic yang menghasilkan kerusakan hati akut jika dikonsumsi secara overdosis. Penggunaan parasetamol dengan tepat dapat bekerja secara optimal. Seperti pada tubuh manusia, apabila digunakan secara tepat dapat membentuk metabolit reaktif dalam tubuh. Metabolism tersebut diinaktivasi melalui konjugasi dengan glutation. Parasetamol telah dikaitkan dengan pembentukan metabolit toksik bila bagian parasetamol diaktifkan. Tetapi apabila dikonsumsi secara berlebihan, senyawa ini berbalik menjadi toksik. Hal ini dikarenakan jalur utama metabolis parasetamol melebihi optimal sehingga jalur metabolis yang lain juga meningkat. Akibatnya glutation dalam hati habis karena menetralkan NAPQI (metabolit reaktif hasil metabolis parasetamol), sehingga parasetamol berbalik menyerang hati yang dapat menyebabkan kerusakan yang fatal hingga kematian. (muruges,2005)

2.9 Antioksidan

Antioksidan adalah komponen yang mampu menghambat proses oksidasi, yaitu proses yang dapat menghambat perusakan (brown, 200). Aktivitas penghambatan dalam reaksi oksidasi berdasarkan keseimbangan reaksi oksidasi dan reduksi dan membentuk molekul yang tidak relative dengan demikian reaksi berantai yang disebabkan radikal bebas dihambat (Belitz, 1984).

Mekanisme kerjanya antioksidan memiliki 2 fungsi. Fungsi pertama merupakan fungsi utama dari antioksidan (AH*) yang mempunyai fungsi utama tersebut sering disebut sebagai

antioksidan primer. Senyawa ini dapat memberikan atom hydrogen secara cepat ke radikal lipida (R^* , ROO^*) atau mengubahnya ke bentuk lebih stabil, sementara turunan radikal antioksidan tersebut memiliki keadaan lebih stabil dibanding radikal lipida. Fungsi kedua adalah fungsi sekunder antioksidan, yaitu memperlambat laju autooksidasi dengan berbagai mekanisme diluar mekanisme pemutusan rantai autooksidasi dengan perubahan radikal lipida ke bentuk lebih stabil (Gordon, 1990).

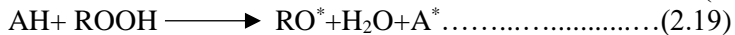
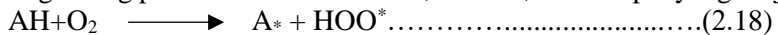
Penambahan antioksidan (AH) primer dengan konsentrasi rendah pada lipida dapat menghambat atau mencegah reaksi autooksidasi lemak dan minyak. Penambahan tersebut dapat menghalangi reaksi oksidasi pada tahap inisiasi maupun propagasi radikal radikal antioksidan (A^*) yang terbentuk pada reaksi tersebut relative stabil dan tidak mempunyai cukup energy untuk dapat bereaksi dengan molekul lipida lain membentuk radikal lipida baru (Gordon 1990).



Radikal Lipida



Besar pengaruh antioksidan yang ditambahkan dapat berpengaruh pada laju oksidasi. Pada konsentrasi tinggi, aktivitas antioksidan grup fenolik sering lenyap bahkan antioksidan tersebut menjadi prooksidan. Pengaruh jumlah konsentrasi pada laju oksidasi tergantung pada stuktur antioksidan, kondisi, dan sample yang diuji.



2.10 Penelitian sebelumnya

Hasil penelitian oleh Fahrurozie dkk pada tahun 2010 menjelaskan bahwa laju korosi pada rentan pH uji dengan penambahan *oleil imidazolinum* mampu menurunkan laju korosi cukup signifikan yaitu berkisar 1,29 - 2,44 mm th untuk laju korosi tanpa inhibitor, sedangkan laju korosi dengan adanya *oleil imidazolinum* 40 ppm menjadi 0,5-0,81 mm th.

Dendra dkk pada tahun 2017 melakukan penelitian pada inhibitor berbasis imidazoline yang menjelaskan bahwa penambahan konsentrasi inhibitor korosi imidazoline, dapat 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.

Menurut F. Farelas dkk menyimpulkan bahwa inhibitor pada korosi CO₂ dari baja karbon X65 melalui (1-(2-hidroxyethyl)-2(heptadec-8-enil)-imidazolin dan 1- (2-aminoetil)-2(heptadec-8-enyl)-bis-imidazolin dalam larutan 3% NaCl pada suhu 80°C, pH 4 dan kondisi turbulen. Informasi yang diperoleh dari impedansi elektrokimia dapat membantu di karakterisasi film inhibitor secara berbeda konsentrasi dan evolusinya seiring berjalannya waktu. Dengan menggunakan analisis EIS dan pengamatan permukaan, menemukan bahwa 1- (2-aminoetil) -2 (heptadec-8-enyl) -bis-imidazolin membentuk inhibitor dengan lapisan yang lebih kompak dan karena itu perlindungan korosi ditingkatkan. Struktur molekul inhibitor ini memungkinkan penggunaan konsentrasi rendah tanpa kehilangan efisiensi.

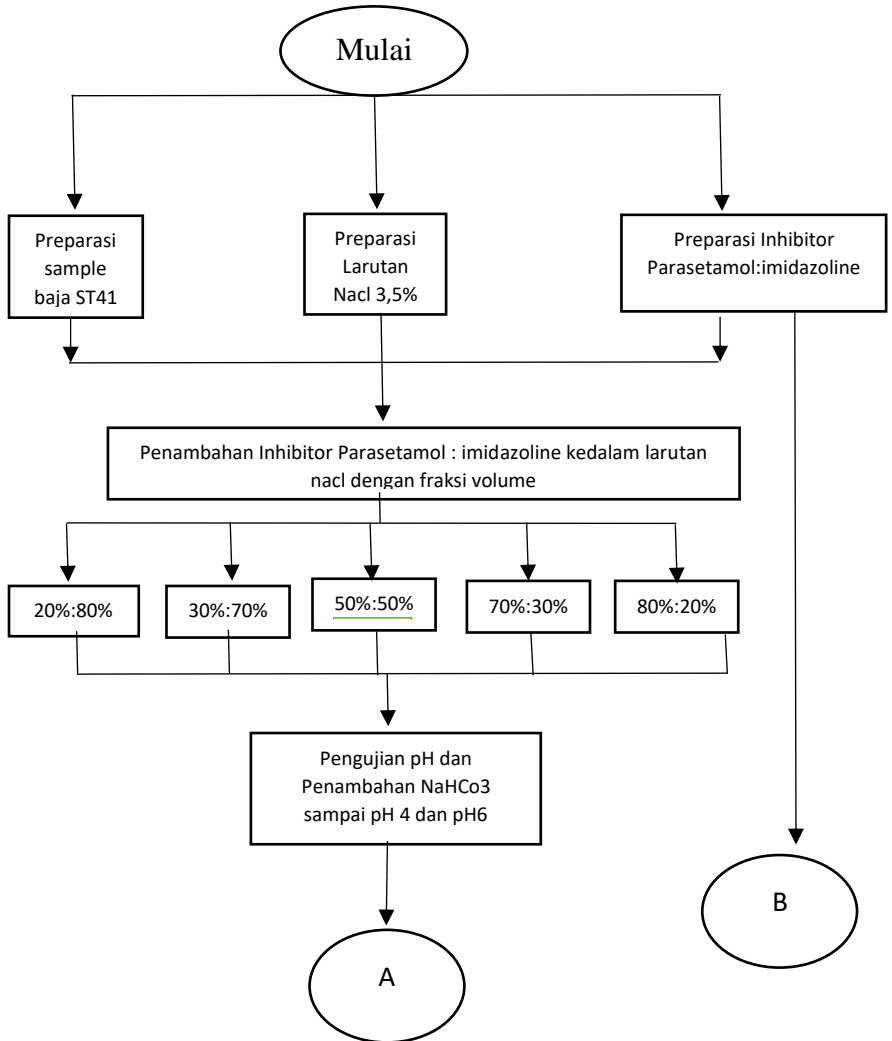
Kemudian penelitian oleh huey j chen dkk menjelaskan bahwa Kinerja inhibisi imidazoline dan amida pada suhu tinggi dapat ditingkatkan dengan meningkatkan konsentrasi inhibitor. Namun, dengan efisiensi inhibitor yang terbatas. Dalam penelitian ini efisiensi imidazolin dan amida meningkat dari 60% menjadi 90% dan 46% menjadi 83%, dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor dari 400 ppm menjadi 1.000 ppm setelah terpapar 72 jam. Konsentrasi inhibitor yang tinggi dapat mempengaruhi pemisahan minyak atau air di hilir dan kualitas air untuk reinjeksi atau pelepasan ke laut.

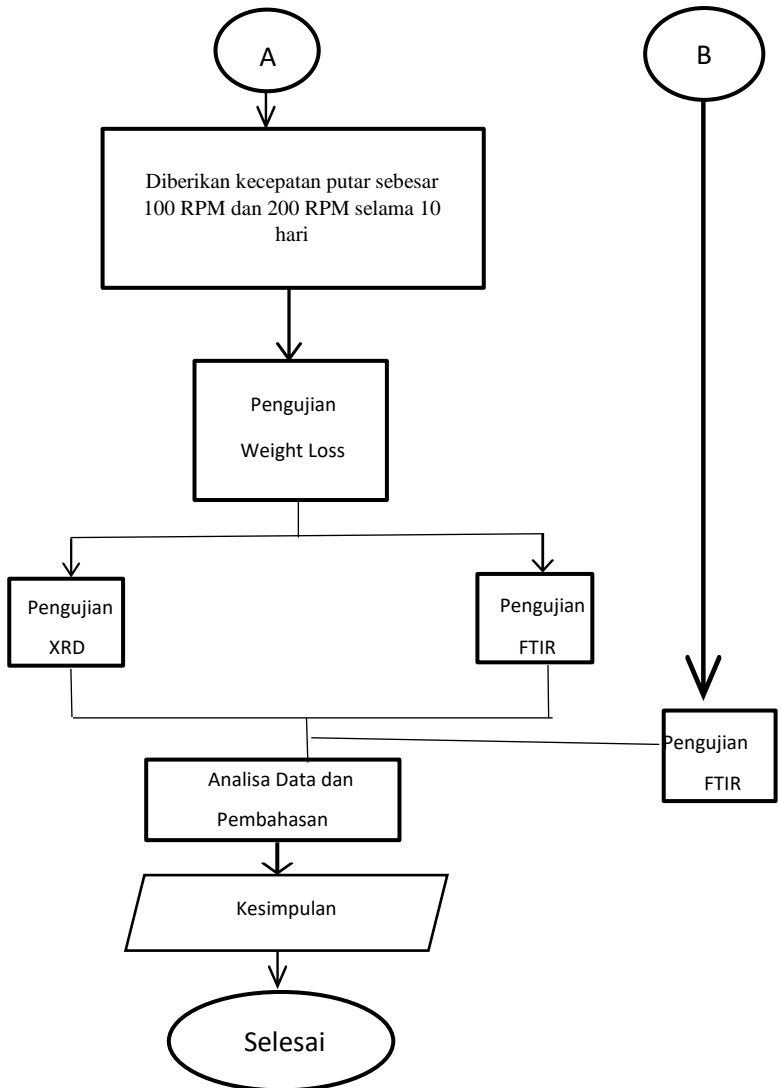
Penambahan inhibitor obat parasetamol oleh rakanda 2012 dalam lingkungan 3.5% NaCl dengan pH=6 pada temperatur 25°C dan 40°C menyimpulkan bahwa obat parasetamol dapat

menurunkan laju korosi pada baja API 5L Grade B. Pada lingkungan dengan temperatur 25°C laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 150 ppm sebesar 0,041 mm/year, sedangkan pada lingkungan dengan temperatur 40°C laju korosi terendah didapatkan pada konsentrasi inhibitor 200 ppm sebesar 0,941mm/year.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Percobaan

3.2 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.2.1. Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal dan informasi dari penelitian sebelumnya yang mempelajari mengenai inhibitor korosi, khususnya penelitian yang menggunakan inhibitor komersial berbasis *parasetamol* : *imidazolin* dengan menggunakan pH, konsentrasi inhibitor dan kecepatan putar sebagai variabel bebas. Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi inhibitor dan melakukan evaluasi terhadap penelitian sebelumnya.

3.2.2 Eksperimen

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

3.3 Alat dan Bahan Percobaan

3.3.1 Alat Percobaan

Alat-alat yang digunakan pada percobaan ini adalah sebagai berikut :

1. pH Meter
2. Kertas amplas
3. Timbangan digital
4. Satu set peralatan *Rotating Disc Electrode (RDE)* pada toples kaca
5. RPM meter
6. Mikropipet 100 μ l – 1000 μ l
7. Gelas beaker 1000 ml
8. Gelas beaker 500 ml
9. Tabung gas CO₂
10. Selang gas CO₂
11. Teflon

12. Lem dextone
13. Plastisin

3.3.2 Bahan Percobaan

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

1. Baja ST41
2. Garam NaCl
3. Aquades
4. Gas CO₂
5. Inhibitor berbasis Imidazoline
6. Inhibitor berbasis Parasetamol
7. Larutan NaHCO₃

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini adalah baja ST41 dengan diameter sampel sebesar 2 cm dan tinggi sampel sebesar 0.5 cm. Sampel uji pada penelitian ini berbentuk disc yang berlubang. Sampel dilakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas amplas untuk menghilangkan lapisan oksida pada permukaan sampel yang mengganggu proses pengukuran laju korosi. Setelah diamplas, sampel dipasang pada RDE. Kemudian tutup bagian yang tidak terdapat sampel dengan menggunakan material teflon untuk menghindari kontak dengan elektrolit.

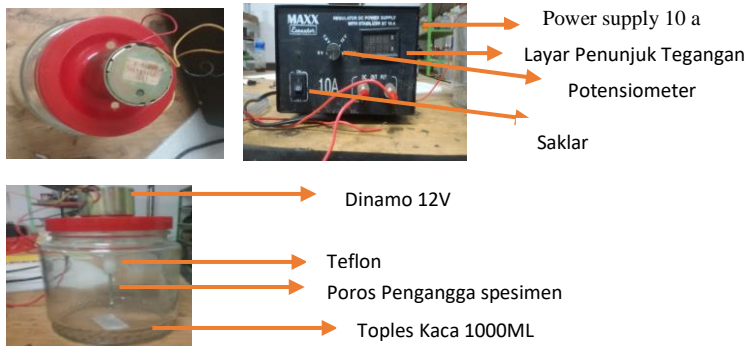


Gambar 3.2. Contoh specimen uji

3.4.2 Preparasi Alat

Rotating disc electrode (RDE) dibuat dengan menggunakan dinamo pada bagian atas tutup toples. Pengaturan kecepatan putar pada dinamo, dilakukan dengan pemberian hambatan oleh potensiometer yang sudah terpasang di power supply. Sehingga, kecepatan putar menjadi konstan sesuai dengan yang telah direncanakan. Bagian yang berputar pada dinamo kemudian disambungkan dengan teflon yang pada ujungnya terpasang poros yang berulir, sehingga sampel dapat terpasang pada RDE. Material teflon digunakan untuk melindungi permukaan poros agar tidak bersentuhan dengan larutan elektrolit.

Setelah semua terpasang, kabel dari dinamo disambungkan secara parallel dengan RDE lainnya kemudian dialiri listrik dari power supply yang keluar dari aliran listrik PLN. Sehingga, pengujian *weight loss* dapat dilakukan selama 10 hari



Gambar 3.3. Contoh rangkaian alat rotating disc electrode



Gambar 3.4. Proses pengujian spesimen

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 untuk digunakan

3.4.4 Penambahan Inhibitor Korosi Parasetamol : imidazolin

Penambahan inhibitor korosi berbasis parasetamol : imidazoline dilakukan pada larutan NaCl 3,5 % 500 ml. inhibitor yang dipakai masing masing sebesar 500 ppm dengan perbandingan konsentrasi inhibitor 20% : 80%, 30% : 70%, 50% : 50%, 70% : 30%, 80% : 20%. Sehingga, volume perbandingan inhibitor korosi yang ditambahkan ke dalam larutan NaCl 3,5 % 500 ml adalah sebesar 0,05 ml : 0,2 ml, 0,075 ml : 0,175 ml, 0,125 ml : 0,125 ml, 0,175 ml : 0,075 dan 0,2 ml : 0,05 ml untuk inhibitor parasetamol : imidazoline. Kemudian dilakukan pengadukan sampai kedua inhibitor tercampur dan larut dengan sempurna.



Gambar 3.5. inhibitor Parasetamol dan imidazoline

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 ST41 pada lingkungan larutan NaCl 3,5 % dengan penambahan gas CO₂ pada kecepatan putar. Spesimen baja yang berbentuk disc dilakukan pemotongan agar mencapai luas kontak dengan elektrolit sebesar 2cm. Sampel yang digunakan pada pengujian ini adalah sebanyak 72 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 ST41 yang telah diamplas untuk menghilangkan lapisan oksida.
2. Menimbang berat awal sampel dengan menggunakan timbangan digital
3. Merangkai sampel baja ST41 dengan material teflon
4. Memasang rangkaian sampel dan teflon pada RDE
5. Mengisi toples dengan menggunakan larutan NaCl 3,5 % dan perbandingan volume inhibitor korosi parasetamol : imidazolin kemudian ditutup
6. Menambahkan gas CO₂ dari tabung gas CO₂ dan tunggu hingga jenuh sampai pH 4

7. Menambahkan larutan NaHCO_3 untuk meningkatkan pH larutan pada pH 4 dan pH 6
8. Menjalankan RDE sesuai dengan kecepatan yang telah direncanakan yaitu 100 RPM dan 200 RPM
9. Tutup lubang untuk penambahan larutan 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 Uji *Weight Loss*

pH	Konsentrasi Perbandingan volume Inhibitor(%)	Kecepatan Putar (RPM)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Efisiensi (%)
4	0	100					
	20 : 80						
	30 : 70						
	50 : 50						
	70 : 30						
	80 : 20						
	0	200					
	20 : 80						
	30 : 70						
	50 : 50						
70 : 30							

	80 : 20						
pH	Konsentrasi Perbandingan Volume Inhibitor (%)	Kecepatan Putar (RPM)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Efisiensi (%)
6	0	100					
	20 : 80						
	30 : 70						
	50 : 50						
	70 : 30						
	80 : 20						
	0	200					
	20 : 80						
	30 : 70						
	50 : 50						
	70 : 30						
	80 : 20						

3.5.2 Pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Pengujian spektroskopi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada inhibitor berbasis turunan imidazoline, parasetamol dan sampel yang telah dilakukan pengujian selama 10 hari oleh parasetamol : imidazoline dengan menggunakan konsentrasi inhibitor 50% : 50% pada pH 4 dengan kecepatan putar 100 RPM. Sehingga, didapat data gugus fungsi inhibitor parasetamol, inhibitor imidazoline sebelum dilakukan pengujian dan sampel uji yang telah dilakukan pengujian agar dapat digunakan untuk melihat gugus fungsi yang terkandung dalam lapisan permukaan sampel setelah selesai pengujian.

3.5.3 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk menganalisa 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 imidazoline pada pH 6 dan kecepatan putar 200 RPM dengan konsentrasi perbandingan inhibitor 50% : 50%.



Gambar 3.6. Alat uji XRD

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Pengujian *Weight loss*

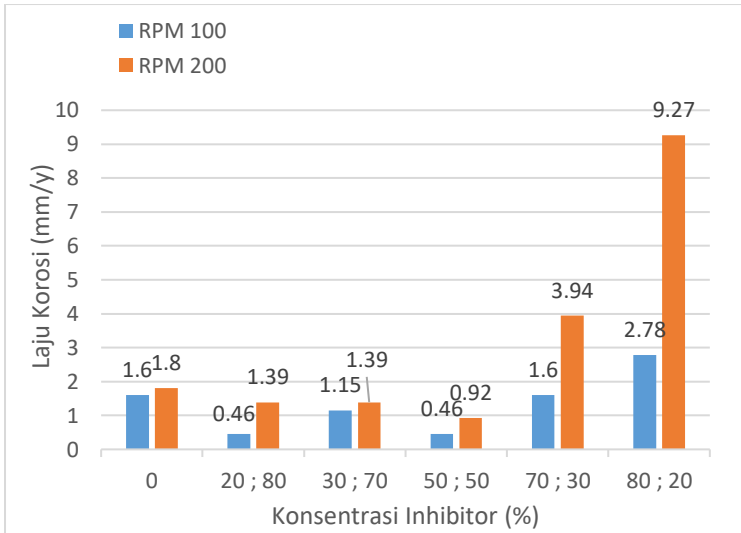
Pengujian *weight loss* dilakukan selama sepuluh hari dengan variabel bebas kecepatan putar, pH larutan dan konsentrasi inhibitor. Berikut ini adalah hasil pengujian *weight loss* selama 10 hari.

Tabel 4.1 Data Hasil Uji *Weight Loss*

pH	Konsentrasi Perbandingan volume Inhibitor(%)	Kecepatan Putar (RPM)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Efisiensi (%)
4	0	100	5,83	5,76	0,07	1,6	0
	20 : 80		7,51	7,49	0,02	0,46	71
	30 : 70		10,59	10,54	0,05	1,15	31
	50 : 50		9,707	9,68	0,02	0,46	71
	70 : 30		10,63	10,56	0,07	1,6	0
	80 : 20		8,479	8,357	0,12	2,78	-73
	0	200	8,29	8,21	0,08	1,8	0
	20 : 80		12,13	12,06	0,06	1,39	22
	30 : 70		10,16	10,05	0,06	1,39	22
	50 : 50		9,24	9,20	0,04	0,92	48
	70 : 30		10,821	10,651	0,17	3,94	-116
	80 : 20		9,225	8,825	0,4	9,27	-415

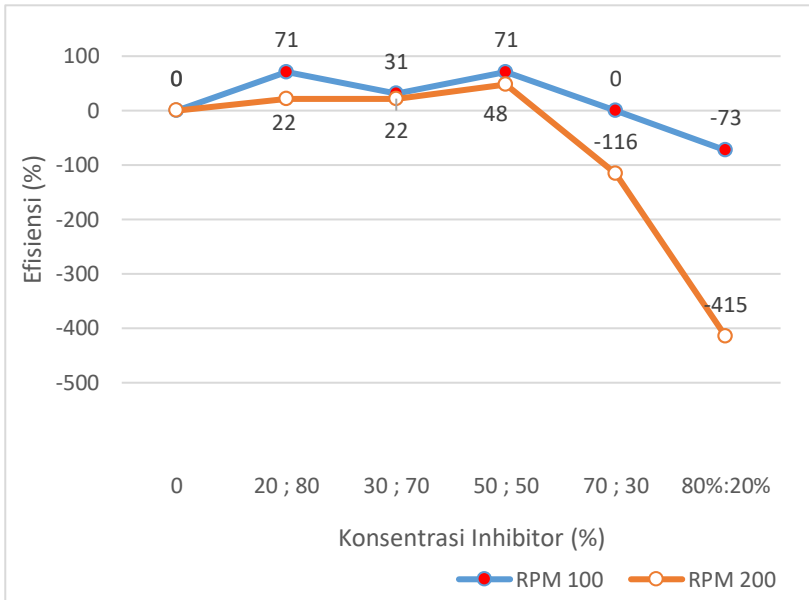
pH	Konsentrasi Perbandingan volume Inhibitor (%)	Kecepatan Putar (RPM)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Laju Korosi (mm/y)	Efisiensi (%)
6	0	100	6,15	6,09	0,06	1,39	0
	20 : 80		8,40	8,37	0,03	0,69	50
	30 : 70		7,42	7,40	0,02	0,46	66
	50 : 50		8,32	8,30	0,02	0,46	66
	70 : 30		6,14	6,10	0,04	0,69	33
	80 : 20		8,3	8,25	0,05	1,15	17
	0	200	9,916	9,856	0,06	1,39	0
	20 : 80		7,03	7,01	0,02	0,46	66
	30 : 70		7,03	7,01	0,02	0,46	66
	50 : 50		7,86	7,81	0,05	1,15	17
	70 : 30		6,9	6,86	0,06	1,39	0
	80 : 20		9,096	9,036	0,06	1,39	0

Tabel 4.1 ditunjukkan data hasil dari pengujian *weight loss* selama 10 hari. Dimana variable yang ditentukan adalah pH, kecepatan putar dan volume inhibitor yang diberikan. Variable yang diberikan meliputi pH 4 dan pH 6, kecepatan putar 100 rpm dan 200 rpm, kemudian perbandingan volume inhibitor parasetamol : *imidazoline* yaitu 20%:80%, 30%:70%, 50%:50%, 70%:30%, 80%:20%. Dalam pengujian ini metode yang digunakan adalah *Rotating disc electrode* dimana specimen yang diuji adalah baja ST41.



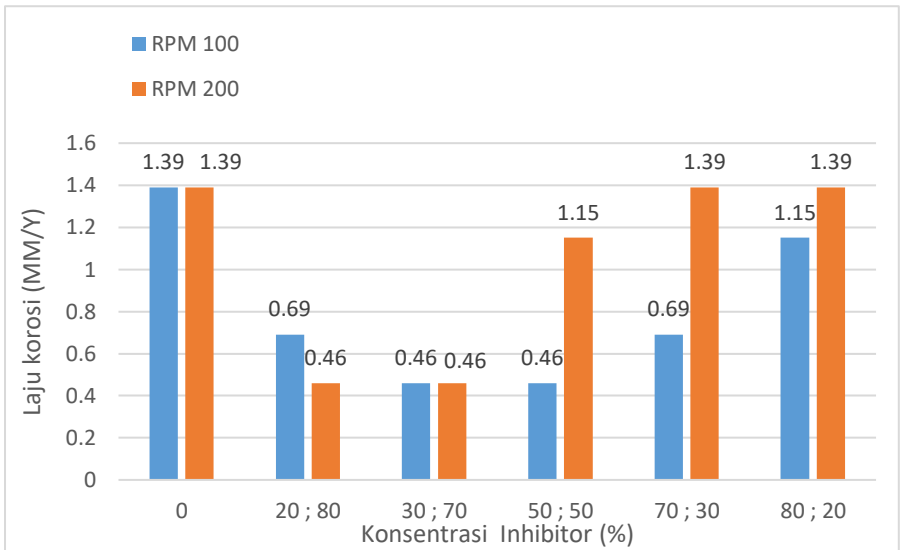
Gambar 4.1 Pengaruh kecepatan putar dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada pH 4

Gambar 4.1 ditunjukkan data pengaruh kecepatan putar dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi baja ST41 pada pH4 diberikan kecepatan putar 100 RPM dan 200 RPM. Dari penelitian ini ditunjukkan bahwa specimen yang tidak diberikan inhibitor memiliki laju korosi tertinggi tetapi semakin meningkatnya konsentrasi volume inhibitor parasetamol terjadi peningkatan laju korosi pada baja ST41. Nilai laju korosi terendah pada konsentrasi inhibitor 20%:80% dan 50%:50% kecepatan putar 100 RPM yaitu sebesar 0.46 mm/year.



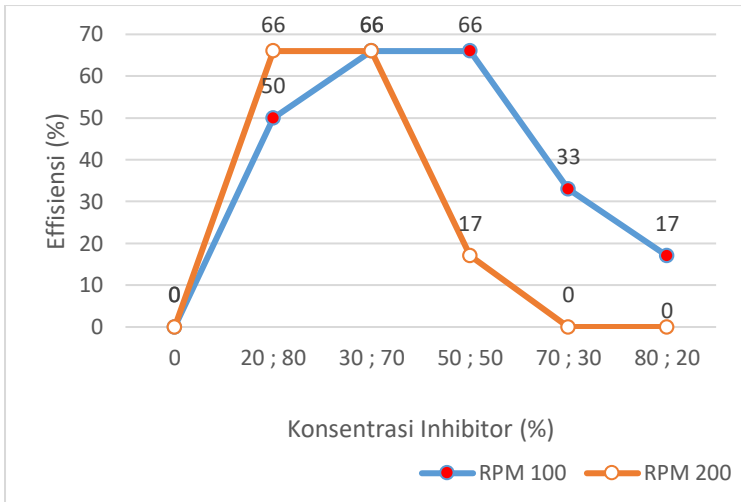
Gambar 4.2 Pengaruh Kecepatan Putar dan konsentrasi inhibitor terhadap efisiensi pada pH 4

Dari gambar 4.2 ditunjukkan data efisiensi inhibitor campuran pada berbagai konsentrasi dan variasi kecepatan putar. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada perbandingan 20%:80% dan 50%:50% parasetamol : imidazoline terhadap baja ST41 yaitu sebesar 71%.



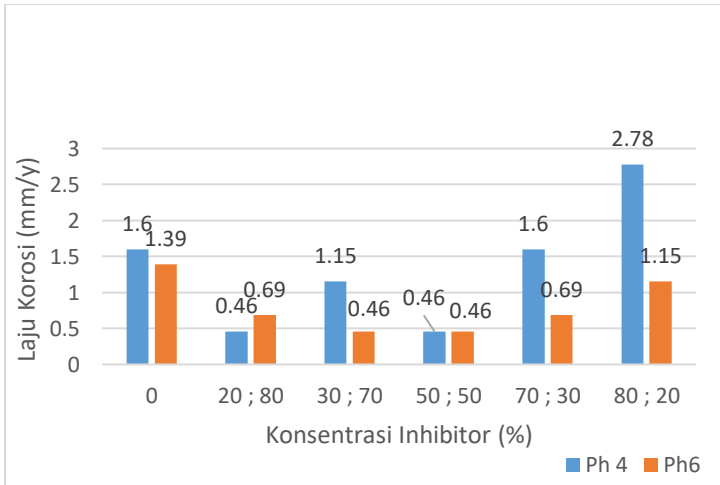
Gambar 4.3 Pengaruh kecepatan putar dan konsentrasi inhibitor terhadap laju korosi pada pH 6

Gambar 4.3 Ditunjukkan nilai laju korosi mengalami penurunan dengan peningkatan konsentrasi inhibitor parasetamol : *imidazoline*. Nilai laju korosi paling rendah pada perbandingan 30%:70% dan 50%:50% kecepatan 100 RPM sebesar 0,46 mm/year dan 20%:80%, 30%:70% RPM 200 sebesar 0,46. Selain itu dari data tersebut ditunjukkan bahwa semakin meningkatnya konsentrasi parasetamol lebih dari 50% tidak berdampak positif terhadap penurunan laju korosi.



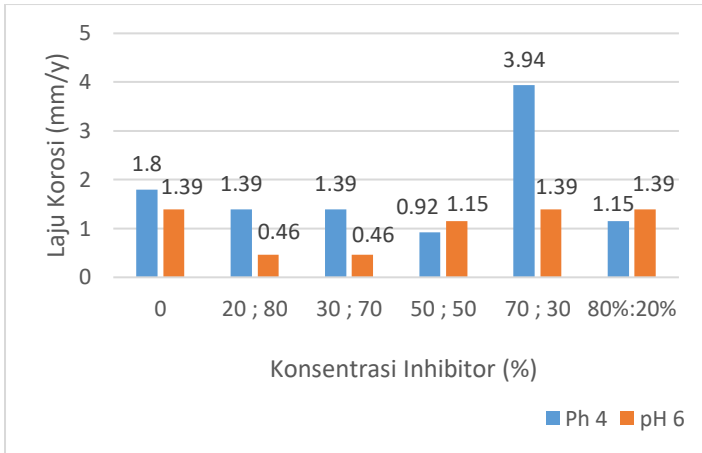
Gambar 4.4 Pengaruh Kecepatan Putar dan konsentrasi inhibitor Terhadap Effisiensi Pada pH 6

Dari gambar 4.4 ditunjukkan bahwa efisiensi inhibitor campuran pada berbagai konsentrasi dan variasi kecepatan putar. Nilai efisiensi inhibitor campuran yang tertinggi terdapat pada sampel baja ST41 dengan perbandingan volume 30%:70% dan 50%:50% pada kecepatan 100 RPM senilai 66%.



Gambar 4.5 Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi pada kecepatan 100 RPM

Dari gambar 4.5 ditunjukkan bahwa peningkatan nilai pH diikuti penurunan laju korosi. Laju korosi terendah adalah sampel dengan perbandingan inhibitor parasetamol : *imidazoline* 20%:80% pH 4, 50 : 50 pH 4 tetapi terjadi peningkatan laju korosi pada konsentrasi inhibitor parasetamol diatas 50%. Pada pH 6 laju korosi stabil mengalami penurunan dari konsentrasi 0 sampai 50:50 tetapi terjadi peningkatan pada perbandingan melebihi 50:50 persen.



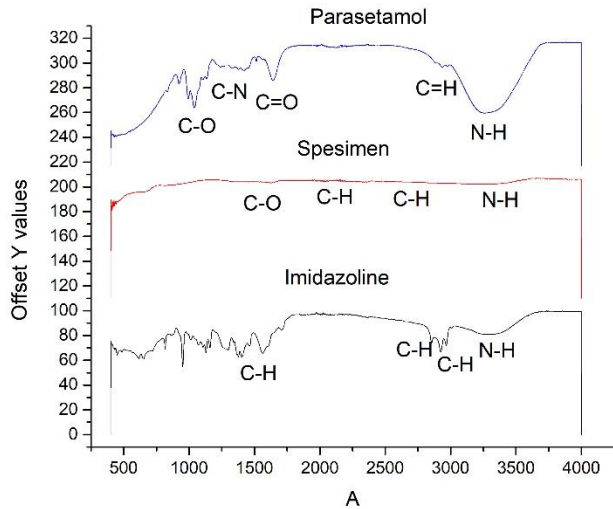
Gambar 4.6 Pengaruh pH Terhadap Laju Korosi pada 200 RPM

Dari gambar 4.6 ditunjukkan bahwa peningkatan nilai pH diikuti penurunan laju korosi. Laju korosi terendah pada perbandingan inhibitor parasetamol : *imidazoline* 20:80 pH 6, 30: 70 pH 6 tetapi laju korosi mengalami peningkatan pada konsentrasi inhibitor parasetamol 50% hingga 80%.

4.1.2 Pengujian FTIR

Dalam pengujian FTIR ini dilakukan menggunakan 3 sampel, sampel pertama yaitu bahan *imidazoline*, sampel kedua parasetamol, dan sampel ke tiga yaitu specimen yang memiliki laju korosi paling rendah.

Dari hasil uji FTIR pada bahan inhibitor korosi Parasetamol terdapat ikatan yang menunjukkan *peak*.



Gambar 4.7 Hasil FTIR inhibitor Parasetamol dan Spesimen

Hasil analisis FTIR dari tabel 4.2, pada bahan inhibitor parasetamol dari gambar 4.7, 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, 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.

Kemudian hasil FTIR pada sampel baja dengan lingkungan pH 4 RPM 100 dengan penambahan inhibitor 50% : 50% ditunjukkan pada gambar 4.7

Dari analisa FTIR dilihat table 4.4 dapat diketahui bahwa pada specimen yang direndam terdapat beberapa gugus fungsi dari inhibitor parasetamol dan imidazolin. Gugus fungsi tersebut adalah

N-H, C-H, dan C=O. Hal ini dapat disimpulkan bahwa inhibitor campuran tersebut melapisi specimen.

Tabel 4.2 Hasil Analisa FTIR Inhibitor Parasetamol

Wavenumber (cm ⁻¹)	Range Wavenumber (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
3258,50	3400-3250	N-H	<i>Stretch, 1^o,2^o Amines, amides</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>

Tabel 4.3. Hasil Analisa FTIR specimen

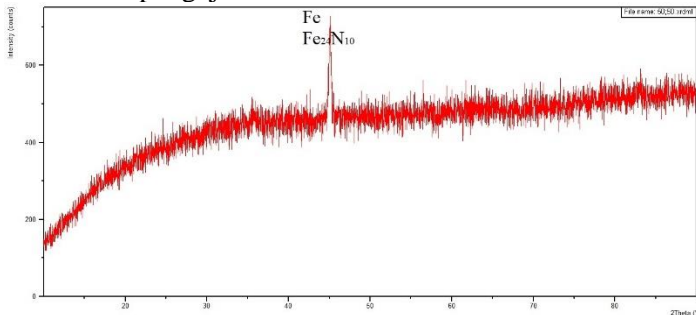
Wavenumber (cm ⁻¹)	Range Wavenumber (cm ⁻¹)	Ikatan	Gugus Fungsi
3500	3500	N-H	<i>Amines</i>
2359	<3000	C-H	<i>Alkane</i>
2036	<3000	C-H	<i>Alkane</i>
1633	1820-1600	C=O	<i>Carbonyl</i>

Tabel 4.4. Hasil analisa FTIR

Imidazolin	Parasetamol	Spesimen	Gugus Fungsi
N-H	N-H	N-H	1 ^o , 2 ^o Amines, amides
C-H	C-H	C-H	Alkanes
-	C=O	C=O	Carbonyl
-	C=C	-	Aromatic
C=N	-	-	Aromatic Rings
C stretch (in rings)	-	-	Aromatics
C-N	C-N	-	Aliphatic Amines
O-H	-	-	Carboxylic Acid
C-Cl	-	-	Alkyl Halides
C-Br	-	-	Alkyl Halides

4.1.3 Pengujian Xrd

Pengujian XRD dilakukan pada sampel pH 4 dengan kecepatan putar sebesar 200 RPM dan konsentrasi inhibitor korosi 50%: 50%. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa atau unsur apa yang terbentuk pada permukaan sampel setelah melakukan pengujian selama 10 hari.



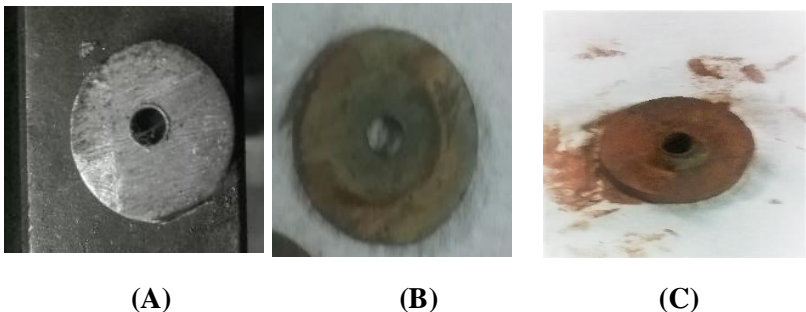
Gambar 4.8. Hasil pengujian XRD

Dari hasil pengujian XRD, posisi puncak peak tertinggi dari spesimen adalah senyawa Fe yang sesuai dengan COD

(*Crystallographic Open Database*) 96-411-3832. Pada spesimen juga ditemukan adanya senyawa $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$ yang sesuai dengan COD (*Crystallographic Open Database*) 96-152-9321.

Senyawa $\text{Fe}_{24}\text{N}_{10}$ Terbentuk dari imidazoline yang memiliki 2 atom nitrogen. Dimana atom nitrogen yang tidak berikatan dengan hydrogen memiliki electron tidak berpasangan yang tidak terikat dalam rantai aromatic (*pyridine*), Atom nitrogen pada *pyridine* akan mendonorkan elektronnya kepada Fe secara *chemisorption*. Sehingga memungkinkan terbentuknya senyawa *iron nitride*.

4.1.4 Hasil Pengamatan Visual



Gambar 4.9 Hasil Pengamatan visual pada sampel baja ST41 (A) sebelum pencelupan, (B) Pencelupan dengan 0 inhibitor pH6 RPM 100, (C) pencelupan dengan 50:50 pH6 RPM 100

Dari hasil pengamatan visual ditunjukkan gambar 4.9 (A) baja ST41 sebelum dilakukan pencelupan terlihat bersih. Pada sampel (B) saat dimana pencelupan sampel pada konsentrasi inhibitor 0% pH6 dan kecepatan putar 100 rpm. Tampak produk korosi terlihat jelas disekitar permukaan sampel. Pada sampel (C) pencelupan sampel pada konsentrasi inhibitor parasetamol : imidazoline 50%:50% pH6 dan kecepatan putar 100 rpm. Pada

gambar tersebut tampak ada lapisan yang berwarna kehitaman pada sampel.

4.2 Pembahasan

Pada analisa pengaruh pH, kecepatan putar, dan perbandingan konsentrasi inhibitor berbasis parasetamol : imidazoline terhadap laju korosi baja ST41 dilindungi CO₂ menggunakan metode *rotating disc electrode*.

Dilakukan pengujian korosi *weight loss* untuk mengetahui pengaruh pH kecepatan putar dan perbandingan volume inhibitor parasetamol : imidazoline terhadap laju korosi pada baja ST41 yang ada pada lingkungan CO₂ dan elektrolit yang digunakan pada penelitian ini adalah NaCl 3,5%. Dari gambar 4.2 ditunjukkan data hasil pengujian sampel pH 4 didapatkan laju korosi paling rendah adalah konsentrasi perbandingan 20:80 persen dan 50:50 persen kecepatan putar 100 RPM. Dari analisa tersebut laju korosi terendah pada pH 4 sebesar 0,46 mm/year dengan efisiensi sebesar 71%. Kemudian dari gambar 4.3 ditunjukkan data hasil pengujian sampel pH 6 didapatkan laju korosi paling rendah pada RPM 100 dengan konsentrasi 30:70 dan 50:50 sebesar 0,46 mm/year dengan efisiensi 66%. Dari penelitian ini dilihat dari gambar 4.1, 4.3, 4.5, 4.6 didapatkan bahwa semakin meningkatnya pengaruh volume parasetamol dapat terjadi penurunan laju korosi hingga perbandingan 50:50. Tetapi semakin adanya peningkatan parasetamol lebih dari 50% terjadi peningkatan laju korosi. Hal ini diduga disebabkan karena terjadi *critical micelle concentration* (CMC) yaitu adanya penambahan inhibitor membentuk micelles atau beberapa lapisan yang teradsorpsi pada permukaan logam. Akibatnya, tegangan permukaan dan densitas arus korosi tidak berubah secara signifikan di atas CMC. (Malik, 2011). Selain itu ada beberapa dugaan bahwa senyawa parasetamol salah satu grup fenolik, yaitu apabila menjadi senyawa yang prooksidan apabila pemberiannya di atas optimal (Gordon, 1990). Sehingga reaksi oksidasi yang disebabkan oleh radikal bebas dihambat oleh antioksidan dengan melepas ion H⁺ untuk diberikan pada radikal

bebas. Apabila jumlah antioksidan meningkat dapat disimpulkan bahwa ion H^+ juga meningkat pada elektrolit yang dapat menyebabkan elektrolit semakin asam karena mengalami kelebihan ion H^+ (saddam, 2013). Sehingga nilai laju korosi pada perbandingan inhibitor diatas 50:50 semakin meningkat karena reaksi korosi semakin parah dengan elektrolit yang semakin asam.

Pada gambar 4.5 dan 4.6 ditunjukkan bahwa pengaruh pH terhadap laju korosi. Dari gambar tersebut adanya peningkatan pH (>4) diikuti oleh penurunan laju korosi hal ini disebabkan karena pada lingkungan ini mengakibatkan penurunan kelarutan $FeCO_3$ dan mengarahkan pada peningkatan laju pengendapan. Hal tersebut dapat terjadi penurunan laju korosi (pandyo, 2012).

Dari gambar 4.8 ditunjukkan bahwa terdapat beberapa gugus fungsi dari specimen baja ST41 dengan penambahan inhibitor 50 : 50. Diantaranya senyawa fenol (N-H), senyawa alkane (C-H), dan senyawa carbonyl (C=O). Menurut hutasoit (2013) terdapat gugus fungsi N-H pada sampel uji. Dengan adanya gugus fungsi *amine* pada permukaan baja, menunjukkan bahwa inhibitor korosi *imidazoline* bekerja melindungi permukaan logam dari serangan korosi. Kemudian menurut zhang (2015) pada hasil FTIR yang dilakukan sampel inhibitor imidazoline terdapat beberapa gugus fungsi seperti N-H, C-H, C=N, C-N. 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 *pyrine* kepada Fe dari sampel uji. Sehingga terbentuk reaksi yang kuat antara inhibitor Imidasolin dan sampel uji (Bhargava, 2009). Adanya ikatan C-H sebagai rantai cabang menandakan adanya gugus hidrokarbon di permukaan logam. Dengan adanya gugus C-H membuat senyawa Imidasolin memiliki kemampuan hidrofobik (Hutasoit, 2013). Dari pengujian specimen itu juga didapatkan beberapa senyawa dari inhibitor parasetamol yaitu berupa senyawa N-H, C-H, dan C=O. Adanya senyawa dari

parasetamol ini diduga parasetamol teradsorpsi secara fisisorpsi pada permukaan logam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Inhibitor parasetamol : imidazoline mengakibatkan penurunan laju korosi baja ST41 di lingkungan pH 4 pada konsentrasi 20%:80% dan pada konsentrasi 50% :50%. Tetapi pada konsentrasi 30%:70% laju korosi mengalami peningkatan. Laju korosi terendah pada konsentrasi 20% :80% pH 4 dengan kecepatan putar 100 RPM. Peningkatan kecepatan putar meningkatkan laju korosi baja ST41. peningkatan nilai pH menurunkan laju korosi.
2. Peningkatan konsentrasi inhibitor parasetamol meningkatkan laju korosi karena kandungan H⁺ dalam elektrolit semakin meningkat dan membuat elektrolit semakin asam. Oleh karena itu semakin tinggi konsentrasi parasetamol yaitu diatas 50% mengakibatkan laju korosi nya semakin meningkat.
3. Dari hasil analisa FTIR pada specimen terdapat gugus fungsi dari kedua inhibitor tersebut gugus fungsi tersebut yaitu N-H, C-H, dan C=O

5.2 Saran

1. Perlu adanya variasi penambahan temperatur pada pengujian selanjutnya untuk melihat kinerja inhibitor pada temperature tinggi
2. Perlu adanya variasi elektrolit pada pengujian selanjutnya untuk melihat kinerja inhibitor pada larutan elektrolit yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2004. ASTM Internasional. ASTM G31-72 : Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. United State.
- Ahmad Jaal, Rafida, dkk. (2014). “*A Review of CO₂ Corrosion Inhibition by Imidazoline-based Inhibitor*”. Universiti Teknologi PETRONAS.
- Akbar R, dkk (2013). “Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Obat Paracetamol dan Temperatur Media Elektrolit terhadap Laju Korosi Baja Karbon API 5L Grade B pada Lingkungan 3.5% NaCl yang Mengandung Gas CO₂”. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS.
- Ali Fahrurrozi, dkk (2010). “Effisiensi Inhibisi Cairan Turunan Imidazoline Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon Dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida”. Program Studi Kimia, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Ardiyanti, Y, (2014). *Kombinasi Spektrofotometri UV dan Kalibrasi Multivariat untuk Analisis Parasetamol, Guaifenesin, dan Klorfeniramin Maleat secara Simultan*, Thesis, Fakultas Farmasi UGM, Yogyakarta
- Asmara, panca (2008). “Efek Kecepatan Aliran Minyak terhadap Kecepatan Korosi dalam Pipa di Lingkungan Minyak dan Gas Bumi. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- Aziz, Octoviawan, (2011). “ Studi Pengaruh Laju Alir Fluida Terhadap Laju Korosi Baja API 5L X-52 Menggunakan

Metode Polarisasi Pada Lingkungan NaCl 3.5% yang Menandung Gas CO₂”, Depok: Universitas Indonesia.

Castaneda, H. (2004). “ *Film Stability for API 5L X- 52 Line Pipe Steel in CO₂ (aq) and Cl⁻ (aq) Solutions in Presence of Amine Based Inhibitor Under Hydrodynamic Conditions*”. Mexico

Chamberlain J., Trethewey KR.. 1991, KOROSI (Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan), PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Chang, R. 2005. Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Jilid 2. Erlangga. Jakarta.

Dendra R, dkk (2017). “Pengaruh pH, Kecepatan Putar, Dan Konsentrasi Inhibitor Berbasis Imidazoline Terhadap Laju Korosi Baja AISI 1045 Di Lingkungan Yang Mengandung CO₂”. Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi. Fakultas Teknologi Industri. ITS

Dewi, Sherryta Utari. 2014. Studi Inhibitor Korosi Berbahan Dasar Imidazoline Dengan Menggunakan Metode EIS. Depok : Teknik Metalurgi dan Material UI

Durnie, W, dkk (2001). “*Surface Analysis of Adsorbed Carbon Dioxide Corrosion Inhibitors*”. USA: *The journal of Science and Engineering*.

Farelas, F, dkk. (2010). “*Carbon Dioxide Corrosion Inhibition of Carbon Steels Through Bis-imidazoline and Imidazoline Compounds Studied by EIS*”. Instituto Mexicano del Petróleo.

Febrianto, Geni Rina Sunaryo, dkk (2010). “Analisis Laju Korosi Dengan Penambahan Inhibitor Korosi Pada Pipa Sekunder Reaktor RSG-GAS”. PTRKN-BATAN.

- Febriyanti, Eka (2008). Studi Pengaruh Penambahan NaCl (PPM) dan Peningkatan pH Larutan Terhadap Laju Korosi Baja Karbon dari Biji Besi Hematite dan Biji Besi Laterite. Departemen Teknik Metalurgi dan Material. UI
- Fontana, Mars G. (1986). “*Corrosion Engineering 3rd Edision*”. New York, McGraw-Hill Book Company.
- Harmami, Hendro Juwono, dkk (2006). “*Study Of 4-Methyl Imidazole As Corrosion Inhibitor Of 316L Austenitic Steel In Acidic Media*”. Jurusan Kimia, FMIPA, ITS.
- Huey J. Chen dkk. (2010). “*High Temperature Corrosion Inhibition Performance Of Imidazolin And Amide*”. Chevron Petroleum Technology Company.
- Iandiano, Dito. (2011). “Studi Laju Korosi Baja Karbon Untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam Yang Mengandung Gas CO₂ pada Lingkungan NaCl 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 %” , Depok: Universitas Indonesia
- Indah, fitria. (2006). “ Pengaruh Konsentrasi NaCl Terhadap Ketahanan Korosi Lapisan Hasil Hot Dip Galvanizing Pada Cold Rolled Steel AISI 1020”. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS.
- Ilwan, Pusaka (2017). “Efektivitas Ekstrak Daun Gambir Sebagai Inhibitor Pada Baja Karbon API 5L Dengan Perlakuan Panas Menggunakan Larutan Nacl 3% “. Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Lampung.
- Jatmika, Arga (2015). “Proses terjadinya korosi, dampak, serta pencegahannya”.
<http://arga41615110005mercubuna.blogspot.co.id>

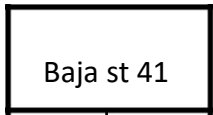
- Jones, Denny A. (1992). *“Principles and Prevention of Corrosion”*. Singapura, Maxwell Macmillan.
- Kirk, R.E & Othmer, D.F., 1965, *“Encyclopedia of Chemical Technology”*, 1 St, Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- Latif, Abdul (2012). Pengaruh Konsentrasi Larutan Garam Terhadap Laju Korosi Dengan Metode Polarisasi dan Uji Kekerasan Serta Uji Tekuk Pada Plat Body Mobil. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS
- Lopez, D.A. 2005. *Inhibitors performance in CO₂ corrosion EIS Studies on the interaction between their molecular Structure and Steel microstructure*. Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata
- Murugesh, K.S., Yeligar, V.C., Maiti, B.C., and Maity, T.K. 2005. Hepatoprotective and Antioxidant Role of Berberis tinctoria Lesch Leaves on Paracetamol Induced Hepatic Damage in Rats. Iranian Journal of Pharmacology and Therapeutics. Vol.4 No.1.
- Nesic. S.K & Lee L.J. 2003. *A Mechanistic Model for Carbon Dioxide Corrosion of Mild Steel in The Persence of Protective Iron Carbonate – Part 3 Film Growth Model*. Columbus : NACE International
- Nizam, la ode. (2014). STRUKTUR MIKRO BAJA KONSTRUKSI St41NORMALIZING. <http://nizammetallurgist.blogspot.co.id>
- Nuraini, Lutviasari (2016). STUDI INHIBITOR KOROSI BERBASIS IMIDAZOLINE SALT PADA BRINE WATER DI PIPA PENYALUR MINYAK MENTAH. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI

- Papavinasam, S. (1999). *Evaluation and Selection of Corrosion Inhibitors*. Canmet Materials Technology Laboratory. Ottawa, Ontario, Canada
- Paksi, Dekanita Estrie. (2015). Pengaruh Penambahan Suplemen Vitamin C pada Inhibitor Ekstrak Kulit Kacang Tanah Terhadap Performa Proteksi Korosi Baja API 5L Grade B di Lingkungan Asam dan Netral. Surabaya. Teknik Material dan Metalurgi ITS
- Priyotomo, G. (2008). Kamus Saku Korosi Material. Metalurgi LIPI. Tangerang. P. 4-14.
- Rahman, Mohammad Fajar. (2015). Pengaruh pH, dan Kecepatan Putar Terhadap Karakteristik Korosi Baja Karbon Rendah Pada Larutan Asam Sulfat (H_2SO_4) Menggunakan Rotating Cylinder Electrode (RCE). Surabaya. Teknik Material dan Metalurgi ITS.
- Sulaiman, A. 1978. Korosi Laut, Lingkungan dan Pengaruhnya terhadap Korosi. Seminar Nasional Elektrokimia. Publitbang LIPI, Serpong Tangerang.
- Victor, malau (2011). Pengaruh Variasi Waktu dan Konsentrasi larutan NaCl Terhadap Kekerasan dan Laju Korosi dari Lapisan Nikel *Electroplating* Pada Permukaan Baja Karbon Sedang. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UGM.
- William D. Callister, Jr., (2003). *Materials Science and Engineering, An Introduction, 6th ed.*, John Wiley & Son, Inc.
- Zhang, Huan Huan. (2015). "The behavior of pre-corrosion effect on the performance imidazoline of based inhibitor in 3

wt.% NaCl solution saturated with CO₂". Beijing.
University of Science and Technology Beijing.

LAMPIRAN

1. Pembuatan Elektroda Kerja



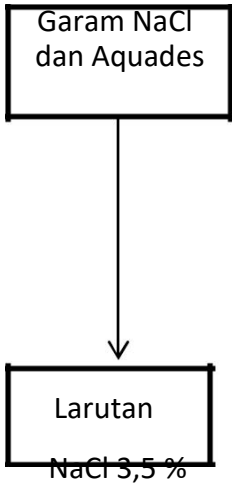
Baja st 41

- Memotong spesimen dengan panjang 0,5 cm
- Membubut specimen untuk mendapatkan diameter 2 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 RDE sebanyak 3 spesimen dan dibatasi dengan teflon

Elektroda

Kerja

2. Pembuatan Larutan NaCl 3,5 %



- Timbang 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 siap untuk digunakan



Larutan
Mengandung
Inhibitor

Inhibitor

Imidazoline



3. Preparasi Inhibitor *Imidazoline*

teteskan pada aquades 500 ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi 150 ppm atau 0,075 ml.

-Menyiapkan Mikropipet 100 μ l – 1000 μ l

Untuk konsentrasi imidazoline 50 %, pipet inhibitor sebanyak 125 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Lalu dilakukan pembagian didapatkan konsentrasi 250 ppm atau

- Total inhibitor 500 ppm

0,125 ml.

-Untuk konsentrasi imidazoline 20%, pipet inhibitor sebanyak 50 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi 100 ppm atau 0,05 ml.

-Untuk konsentrasi imidazoline 70%, pipet inhibitor sebanyak 175 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi 350 ppm atau 0,175 ml.

-Untuk konsentrasi imidazoline 80%, pipet inhibitor sebanyak 200 μ l. Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi 400 ppm atau 0,2 ml.

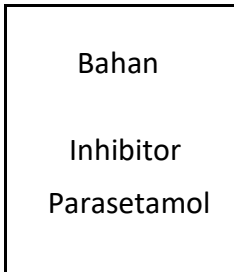
xxv

-Untuk konsentrasi imidazoline 30%, pipet inhibitor sebanyak 75 μ l. Kemudian

4. Preparasi Inhibitor *Parasetamol*

-Menyiapkan Mikropipet 100 μl – 1000 μl

- Total inhibitor 500 ppm



-Untuk konsentrasi Parasetamol 20%, pipet inhibitor sebanyak 50 μl . Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi 100 ppm atau 0,05 ml.

-Untuk konsentrasi Parasetamol 30%, pipet inhibitor sebanyak 75 μl . Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi 150 ppm atau 0,075 ml.

Untuk konsentrasi Parasetamol 50 %, pipet inhibitor sebanyak 125 μl . Kemudian teteskan pada aquades 500 ml. Lalu dilakukan pembagian didapatkan konsentrasi 250 ppm atau 0,125 ml.

-Untuk konsentrasi Parasetamol 70%,



Larutan
Mengandung
Inhibitor

pipet inhibitor sebanyak 175 μ l.

Kemudian teteskan pada aquades

500 ml. Sehingga, didapatkan

konsentrasi 350 ppm atau 0,175 ml.

- Untuk konsentrasi Parasetamol 80%,
pipet inhibitor sebanyak 200 μ l.
Kemudian teteskan pada aquades 500
ml. Sehingga, didapatkan konsentrasi
400 ppm atau 0,2 ml.

6. Perhitungan ppm Inhibitor *Imidazoline* dan Parasetamol dalam 500 ml Aquades

Konsentrasi 20% ppm = 100^{20} 500 = 100 PPM

$$\frac{100}{1000000} = 0.05 \text{ ml}$$

1000000

Konsentrasi 30% ppm = 100^{30} 500 = 150 PPM

$$\frac{150}{1000000} = 0.075 \text{ ml}$$

1000000

Konsentrasi 30% ppm = 100^{50} 500 = 250 PPM

$$\frac{250}{1000000} = 0.125 \text{ ml}$$

1000000

Konsentrasi 70% ppm = 100^{70} 500 = 350 PPM

$$\frac{350}{1000000} = 0.175 \text{ ml}$$

1000000

Konsentrasi 80% ppm = 100^{80} 500 = 400 PPM

$$\frac{400}{1000000} = 0.2 \text{ ml}$$

1000000

6. Pengujian Weight Loss

$$L \text{aju Korosi (mm/year)} = \frac{87600 \times W}{D \times A \times T}$$

W= Berat yang Hilang (gram)

D= Berat Jenis Logam (gram/cm³)

A= Luas Permukaan Kontak (cm²)

T= Waktu (Jam)

Perhitungan laju korosi sampel pada pH 4, 200

RPM dan konsentrasi perbandingan inhibitor 80% : 20
% ppm

$$aju \text{ Korosi (mm/year)} = \frac{87600 \times W}{D \times A \times T}$$

$$\frac{87600 \times 0,4}{9,27} = 3722,240$$

6. Perhitungan Efisiensi Inhibitor

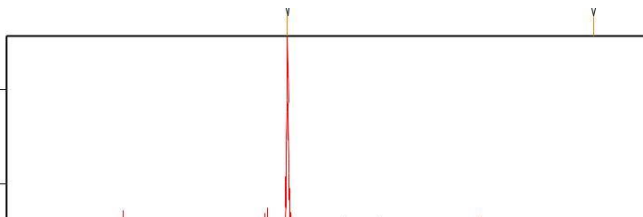
$$IE = \frac{CR_0 - CR_1}{CR_0} \times 100$$

Perhitungan efisiensi inhibitor sampel pada pH 4, 200 RPM dan konsentrasi perbandingan inhibitor 20% : 80% ppm

$$IE = \frac{100 - 29}{100} = 71\%$$

7. Hasil Analisa XRD

Analisa XRD dilakukan pada specimen dengan perbandingan inhibitor 50% : 50% di dapatkan hasil sebagai berikut



Counts

50,50

200

100

0

20

30

40

50

60

70

80

Position [$^{\circ}$ 2Theta] (Copper (Cu))

Dataset Name	50;50
File name	E:\DATA PENGUJIAN\Pengujian 2017\Desember\Arif\50;50\50;50.rd
Comment	Configuration=Reflection- Transmission Sp Goniometer=PW3050/60 (Theta/Theta); Mini
Measurement Date / Time	12/27/2017 2:36:00 PM
Raw Data Origin (.RD)	PHILIPS-binary (scan)
Scan Axis	Gonio
Start Position [$^{\circ}$ Th.]	10.0084
End Position [$^{\circ}$ Th.]	89.9764
Step Size [$^{\circ}$ Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [$^{\circ}$ Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [$^{\circ}$]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00

Receiving Slit Size [mm] 12.7500

Measurement Temperature [°C] -273.15

Anode Material	Cu
K-Alpha1 [Å]	1.54060
K-Alpha2 [Å]	1.54443
K-Beta [Å]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractometer Type	XPert MPD
Diffractometer Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

Dataset Name 50;50

File name E:\DATA

PENGUJIAN\Pengujian 2017\Desember\Arif\50;50\50;50.rd

Comment Configuration=Reflection-

Transmission Sp

Goniometer=PW3050/60

(Theta/Theta); Mini

Measurement Date / Time

12/27/2017 2:36:00 PM

Raw Data Origin

PHILIPS-binary (scan) (.RD)

XXX

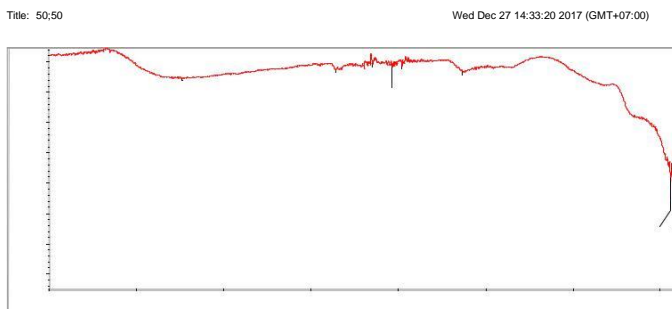
Scan Axis	K-Alpha1 [Å]
Start Position [°2Th.]	K-Alpha2 [Å]
End Position [°2Th.]	K-Beta [Å]
Step Size [°2Th.]	K-A2 / K-A1 Ratio
Scan Step Time [s]	Generator Settings
Scan Type	Diffractometer Type
Offset [°2Th.]	Diffractometer Number
Divergence Slit Type	
Divergence Slit Size [°]	
Specimen Length [mm]	
Receiving Slit Size [mm]	
Measurement Temperature [°C]	
Anode Material	

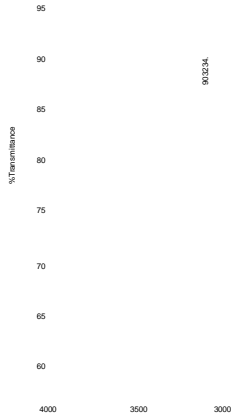
Gonio	12.7500
10.0084	-273.15
89.9764	Cu
0.0170	1.54060
10.1500	1.54443
Continuous	1.39225
0.0000	0.50000
Fixed	30 mA, 40 kV
0.2500	XPert MPD
10.00	1

Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

8. Hasil Analisa FTIR

Pengujian FTIR dilakukan pada Spesimen dengan perbandingan inhibitor 50% :50% dan didapatkan hasil sebagai berikut.





Collection time: Wed Dec 27 13:29:00 2017 (GMT+07) Spectrum:

Region:

Wed Dec 27 14:33:08 2017 (GMT+07:00)

Search type:

FIND PEAKS:

Hit List:

Spectrum:	50,50	Index
Region:	4000.00 400.00	36
Absolute threshold:	95.215	592
Sensitivity:	50	18316
Peak list:		18237
Position:	410.24 Intensity: 70.945	18309
Position:	428.46 Intensity: 74.200	18250
Position:	440.99 Intensity: 75.756	72
Position:	1633.63 Intensity: 93.209	10259
Position:	1979.56 Intensity: 94.189	
		83
Position:	2036.05 Intensity: 94.002	
		18214
Position:	2145.41 Intensity: 94.525	
Position:	2359.08 Intensity: 93.570	
Position:	3234.90 Intensity: 92.176	

082359.
2145.41
2036.05
1979.95
1633.83

440.99
454.23

2500 2000 1500 1000 500
Wavenumbers (cm⁻¹)

50:50

3495.26-455.13

Correlation

Match	Compound name	Library
43.89	ETHCHLORVYNOL ON NAACL PLATES	Georgia State Crime Lab Sample Library
28.01	Zirconium sulfate	HR Nicolet Sampler Library
27.87	Zirconium sulfate hydrate, 99.99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
23.91	Ammonium hexafluorogermanate (IV), 99.99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
22.95	Silver sulfate, 99.999%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
22.24	Silver nitrate, 99.998%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
20.44	PYRIDAZINE, 97%	Aldrich Vapor Phase Sample Library
19.84	3-Chloroperoxybenzoic acid, tech., 80-85	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
%		
19.61	PYRROLE, 98%	Aldrich Condensed Phase Sample Library
19.47	Strontium carbonate, 99.995%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Arif Fajar Himawan merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Suharno S,sos dan Komsitin yang lahir di Surabaya, 9 Maret 1995. Penulis menyelesaikan studi formalnya di SDN Ngampelsari pada tahun 2007 kemudian menyelesaikan Menengah Pertama di SMPN 1 Candi pada tahun 2010 dan menyelesaikan Pendidikan Menengah Atas di SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan studi S1 di Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri (FTI)– ITS pada tahun 2013.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) FTI-ITS sebagai Staff Unit Kerja Khusus HMMT FTI-ITS (2014-2015), dan terakhir menjabat sebagai Kepala Divisi Event Unit Kerja Khusus HMMT FTI-ITS (2015-2016). Selain itu penulis aktif dalam kepanitiaan event. Penulis pernah menjadi project manager big event himpunan HMMT FTI-ITS

Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 087796639036 atau bisa hubungi alamat email ariffajarhimawan@gmail.com