

**PENGARUH KONSENTRASI INISIATOR H₂O₂
PADA SINTESIS OLIGOMER 2-VINILPIRIDIN DAN MEKANISME
ADSORPSI SEBAGAI INHIBITOR KOROSI DALAM MEDIUM
KOROSIF JENUH DENGAN CO₂**

(Skripsi)

Oleh

WINDA SAFITRI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI INISIATOR H₂O₂ PADA SINTESIS OLIGOMER 2-VINILPIRIDIN DAN MEKANISME ADSORPSI SEBAGAI INHIBITOR KOROSI DALAM MEDIUM KOROSIF JENUH DENGAN CO₂

Oleh

WINDA SAFITRI

Oligomer 2-vinilpiridin, O(2-VP) disintesis menggunakan inisiator H₂O₂ dengan konsentrasi bervariasi yaitu 0,25; 0,33; dan 0,5 mol yang disimbolkan dengan O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C. Oligomer hasil sintesis dikarakterisasi gugus fungsi dengan *spectrometer Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan berat molekul dengan *Mass Spectrometer* (MS). Masing-masing senyawa diuji aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif NaCl 3% yang jenuh CO₂ menggunakan metode *Wheel Test*, *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), dan metode Tafel dengan variasi konsentrasi dan suhu. Analisis permukaan pada baja lunak diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Serta oligomer hasil sintesis dipelajari 4 model mekanisme adsorpsi yaitu Langmuir, Temkin, Frumkin, dan Florry-Huggins. Hasil pengukuran dengan spektrometer massa menunjukkan bahwa produk sintesis O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C terdeteksi mempunyai kelimpahan berat molekul 100-1000 *m/z* atau 1- 10 unit monomer, unit monomer paling banyak adalah dimer ($n= 2$). Hasil produk sintesis dengan aktivitas tertinggi sebagai inhibitor korosi berdasarkan metode *Wheel Test* adalah O(2-VP) C, metode EIS pada senyawa O(2-VP) A adalah suhu 30°C, O(2-VP) B dan O(2-VP) C pada suhu 50°C dengan masing-masing terdapat pada konsentrasi inhibitor 150 ppm. Sedangkan metode Tafel pada senyawa O(2-VP) A adalah suhu 50°C, O(2-VP) B dan O(2-VP) C pada suhu 70°C. Hasil analisis permukaan menunjukkan bahwa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C mampu menurunkan laju korosi dibandingkan monomer 2-VP mempromosikan korosi. Hasil plot terbaik pada mekanisme adsorpsi yaitu menggunakan persamaan Langmuir dengan nilai R² berkisar 0,9- 1.

Kata kunci: monomer 2-vinilpiridin, oligomer, inhibitor korosi, korosi CO₂, larutan korosif.

ABSTRACT

THE EFFECT OF H₂O₂ INITIATOR CONCENTRATION ON THE SYNTHESIS OF 2-VINYLPYRIDIN OLIGOMERS AND ADSORPTION MECHANISM AS CORROSION INHIBITORS IN CORROSIVE MEDIUMS SURFACED WITH CO₂

By

WINDA SAFITRI

Oligomer 2-vinylpyridine, O(2-VP) was synthesized using H₂O₂ initiator with various concentrations of 0.25; 0.33; and 0.5 mol symbolized by O(2-VP) A, O(2-VP) B, and O(2-VP) C. The synthesized oligomers were characterized by functional groups using a Fourier Transform Infra-Red (FTIR) spectrometer and molecular weight with a Mass Spectrometer (MS). Each compound was tested for its activity as a corrosion inhibitor of mild steel in 3% NaCl corrosive medium saturated with CO₂ using the Wheel Test, Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method, and the Tafel method with variations in concentration and temperature. Surface analysis on mild steel was observed using a Scanning Electron Microscope (SEM). As well as the synthesized oligomers, four models of the adsorption mechanism were studied, namely Langmuir, Temkin, Frumkin, and Florry-Huggins. The measurement results using a mass spectrometer showed that the synthesis products O(2-VP) A, O(2-VP) B, and O(2-VP) C were detected to have an abundance of molecular weights of 100-1000 *m/z* or 1-10 monomer units, the most monomer units are dimers ($n=2$). The results of the synthesis product with the highest activity as a corrosion inhibitor based on the Wheel Test method were O(2-VP) C, the EIS method on compound O(2-VP) A was 30°C, O(2-VP) B and O(2-VP) C at a temperature of 50°C with each inhibitor contained in the concentration of 150 ppm. While the Tafel method on compound O(2-VP) A is at 50°C, O(2-VP) B and O(2-VP) C at 70°C. The results of the surface analysis showed that O(2-VP) A, O(2-VP) B, and O(2-VP) C were able to reduce the corrosion rate compared to 2-VP monomer promoting corrosion. The best plot results on the adsorption mechanism using the Langmuir equation with R² values ranging from 0.9 to 1.

Keywords: 2-vinylpyridine monomer, oligomer, corrosion inhibitor, CO₂ corrosion, solution corrosive.

**PENGARUH KONSENTRASI INISIATOR H₂O₂
PADA SINTESIS OLIGOMER 2-VINILPIRIDIN DAN MEKANISME
ADSORPSI SEBAGAI INHIBITOR KOROSI DALAM MEDIUM KOROSIF
JENUH DENGAN CO₂**

Oleh

Winda Safitri

Skripsi

Sebagai salah satu untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Penelitian : **PENGARUH KONSENTRASI INISIATOR H₂O₂ PADA SINTESIS OLIGOMER 2-VINILPIRIDIN DAN MEKANISME ADSORPSI SEBAGAI INHIBITOR KOROSI DALAM MEDIUM KOROSIF JENUH DENGAN CO₂**

Nama Mahasiswa : **Winda Safitri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1717011023

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Ilim, M.S.

NIP. 196505251990032002

Dr. rer. sat. Ronivus Marjunus, M.Si.

NIP. 197703182000121003

Ketua Jurusan Kimia
FMIPA Universitas Lampung

Mulyono, Ph.D.

NIP. 197406112000031002

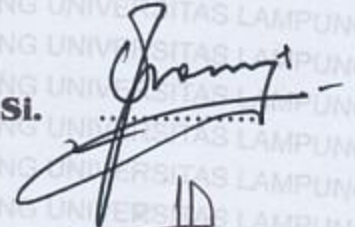
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

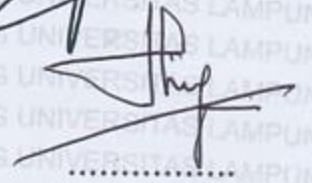
Ketua : Dr. Ilim, M.S.



Sekretaris : Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Syaiful Bahri, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 27 Oktober 2021

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Winda Safitri
Nomor Pokok Mahasiswa : 1717011023
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar- benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pengaruh Konsentrasi Inisiator H₂O₂ Pada Sintesis Oligomer 2-Vinilpiridin dan Mekanisme Adsorpsi Sebagai Inhibitor Korosi Dalam Medium Korosif Jenuh Dengan CO₂”** adalah benar karya saya sendiri dan saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 20 November 2021

Menyatakan



Winda Safitri

1717011023

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Winda Safitri, dilahirkan di Astra Ksetra Menggala Tulang Bawang pada tanggal 20 Juli 1999. Penulis merupakan anak kedua dari Bapak Ismail dan Bunda Umiyati. Jenjang Pendidikan dimulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) 02 Yapindo di PT. Sweet Indo Lampung, diselesaikan pada tahun 2005, Sekolah Dasar (SD) di SD 02 Yapindo, diselesaikan pada tahun 2011, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SD 02 Yapindo, diselesaikan pada tahun 2014, Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 9 Bandar Lampung, diselesaikan pada tahun 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan mendapatkan Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) dan Dana Pendidikan *Sugar Group Companies*.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten Kimia Fisik tahun 2020- 2021 dan Kimia Dasar tahun 2021. Prestasi yang pernah diraih oleh penulis selama menjadi mahasiswa kimia adalah mengikuti *student exchange* ke Universitas Putra Malaysia pada tahun 2019, menjadi finalis acara National Essay Competition tahun 2018 di Universitas Negeri Semarang, serta menjadi finalis ajang lomba *Young Creative Idea* (YCI) tingkat nasional kategori poster tahun 2020 di Universitas Negeri Malang.

Penulis juga aktif diberbagai bidang organisasi kemahasiswaan antara lain di *Chemistry English Club* (CEC) sebagai Ketua Umum periode kepengurusan 2020/2021. Di Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai anggota bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) periode kepengurusan 2019. Penulis juga mengikuti kegiatan diluar kampus diantaranya sebagai volunteer dalam kegiatan Olimpiade Kimia Universitas Negeri Semarang (Okines) SMA

Tingkat Nasional 2018, berpartisipasi dalam acara workshop di kampus BPTM-LIPI tahun 2019.

Kegiatan sosial juga pernah diikuti oleh penulis seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM FMIPA UNILA di Desa Gunung Rejo, Kec. Way Ratai, Kab. Pesawaran tahun 2018, Kunjungan Industri (KI) dengan tema “*Improving The Competence of A Chemist to Prepare The Global Competition*” tahun 2018. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Dwi Warga Tunggal, Kec. Banjar Agung, Kab. Tulang Bawang pada bulan Juli- Agustus 2020 (Periode II) selama 40 hari. Penulis menyelesaikan kerja praktek dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Inhibitor Korosi” di Laboratorium Kimia Anorganik/ Fisik tahun 2020.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Ku persembahkan karya kecilku ini kepada

Bapak bunda tercinta yang selalu berjuang, memberikan kasih sayang, dan memberikan do'a yang terbaik untuk anak- anaknya, dukungan yang tak pernah henti agar bisa menjadi orang yang lebih baik dari mereka. Terima kasih Bapak dan Bunda atas segalanya.

Mamasku, Uchi Hidayat yang telah perhatian, mendukungku, dan banyak memberikan pembelajaran serta seluruh keluarga maupun saudara yang selalu mendo'akan keberhasilanku.

Dengan segala hormat kepada Dr. Ilim, M.S., Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si., Syaiful Bahri, M.Si., dan dosen Jurusan Kimia yang sudah mendidik serta membimbing Ananda selama menempuh Pendidikan di kampus.

Sahabat dan seluruh teman- teman yang membersamai, membantu, memberikan nasehat dan pelajaran hidup.

Seseorang yang disebrang sana (D.I.Y) selalu mendukung dan mendo'akan.

Almamater tercinta Universitas Lampung.

MOTTO HIDUP

Rencanaku bisa saja jadi wacana, tetapi rencana allah sudah pasti luar biasa. Karena Allah tidak berjanji bahwa langit akan selalu biru, tetapi allah berjanji bersama kesulitan pasti ada kemudahan.

“Mulailah dari mana kau berada. Gunakan apa yang kau punya.
Lakukan apa yang kau bisa.”

(Arthur Ashe)

“Hidup itu sederhana, kita yang membuatnya sulit.”

(Confucius)

“Orang yang benar- benar hebat adalah orang yang membuat setiap orang merasa hebat.”

(G. K. Chesterton)

“Terasa sulit ketika aku merasa harus melakukan sesuatu. Tetapi,
menjadi mudah ketika aku menginginkannya”

(Annie Gottlier)

Jika orang lain BISA, kenapa saya tidak?

(Astaro)

“Lakukan apa yang harus dilakukan sampai dapat melakukan apa yang ingin dilakukan.”

(Oprah Winfrey)

SANWACANA

Puji syukur penulis hanturkan kepada Allah SWT atas segala nikmat, hidayah, rezeki, dan kemudahan yang selalu diberikan kepada hamba-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Konsentrasi Inisiator H₂O₂ Pada Sintesis Oligomer 2-Vinilpiridin dan Mekanisme Adsorpsi Sebagai Inhibitor Korosi Dalam Medium Korosif Jenuh Dengan CO₂”** sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana (S.Si) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Teriring do'a dan segenap ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Ismail dan Bunda Umiyati, yang telah berjuang dan berkorban untuk penulis hingga saat ini. Terima kasih atas segala perhatian, semangat, nasehat, dukungan moral maupun materi, serta do'a yang selalu diberikan kepada penulis. Semoga Allah membalasnya dengan selalu diberi kesehatan, kelancaran rezeki, perlindungan, dan kelak ditempatkan di Surga-Nya Allah. Aamiin ya Allah.
2. Kakakku Uchi Hidayat, Kakak ipar Yeyen Fatmala, Sepupuku Dian, dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan semangat, do'a, dan nasehat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Ilim, M.S., selaku pembimbing utama dan juga pembimbing akademik serta sebagai orang tua di kampus, yang telah memberikan ilmu, motivasi, pengalaman, nasehat, bimbingan, kritik, dan saran yang sangat berarti bagi penulis untuk tetap berjuang dan menyelesaikan penelitian sampai tersusunnya skripsi ini.
4. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, M.Si., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, ilmu pengetahuan, kritik, dan saran selama penyusunan skripsi ini.

5. Bapak Syaiful Bahri, M.Si., selaku pembahas, terima kasih atas semua nasehat, ilmu, dan arahan yang membantu penulis dalam perbaikan skripsi ini.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Mulyono, Ph. D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
9. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., dosen yang ceria, ramah, *humble*, dan yang selalu memberikan semangat serta positive vibes kepada penulis.
10. Seluruh Dosen dan Staff pengajar Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung atas ilmu pengetahuan selama proses Pendidikan, serta seluruh staf administrasi, laboran Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
11. *Corrosion Research 2017* (Apri Dearn Sinaga, Nikita Damayanti, dan Zahra Aplisa) selaku rekan penelitian yang selalu membantu, berbagi ilmu dan memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
12. *Corrosion Research 2016* dan *Corrosion Research 2015* yang telah membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan penelitian ini.
13. Syayyidati Aulia, yang telah menjadi kawan terbaik (Baka Prend), Terima kasih atas segalanya telah kebersamai sejak awal perkuliahan.
14. Dini Aulia, Lola Erdianes, Diah Ekarini, dan seluruh teman Angkatan 2017 (yang tidak bisa disebutkan satu-satu), terima kasih sudah memberikan cerita selama kuliah ini, khususnya kelas A (Siti Aisyah, Nurvita, Dhita, Eva, Renny, Dewi, Erma, Eci, Nova, Dita, Feni, Sandi, Andre, Ikrom, dll..) terima

kasih banyak atas moment yang telah diberikan, canda tawanya, semangatnya yang tidak pernah terlupakan. Sukses trus *Chemistry* 2017.

15. Teruntuk sahabat SMA (Rinna, Miranda, Dian, Kailla, Charika, Ceria, dan Delvi) terima kasih atas do'a, dukungannya, serta luangan waktunya yang selalu mendengarkan keluh kesah dan berbagi canda tawanya.
16. Rekan- rekan *Chemistry English Club* (CEC), terima kasih atas kerja samanya dalam menjalankan amanah ini.
17. Teruntuk yang terakhir dan tidak ada duanya Astario Finky Fauzi, terima kasih atas do'a, dukungan, canda tawanya yang selalu menghibur, tetap bersama dalam susah senang serta waktunya sampai saat ini.
18. Almamater tercinta Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas kekurangan tersebut dan berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membaca, khususnya rekan- rekan mahasiswa kimia.

Bandar Lampung, 20 November 2021

Penulis

Winda Safitri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	xii
I. PENDAHULUAN	1
A.Latar Belakang	1
B.Tujuan Penelitian	4
C.Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
A.Korosi.....	5
B.Proses Korosi	7
C.Faktor Penyebab Korosi.....	7
D.Korosi CO ₂	9
E. Inhibitor Korosi.....	10
F. Polivinilpiridin	13
G.Penentuan Laju Korosi.....	18
1. Metode Kehilangan Berat (<i>wheel test</i>)	19
2. Metode Elektrokimia.....	19
H.Parameter Termodinamika dan Mekanisme Adsorpsi	24
I. Karakterisasi Produk Korosi	30
III. METODE PENELITIAN.....	31
A.Waktu dan Tempat Penelitian	31
B.Alat dan Bahan.....	31

C. Prosedur Penelitian.....	32
1. Sintesis Oligomer 2-Vinilpiridin.....	32
2. Karakterisasi Hasil Sintesis.....	33
3. Persiapan Larutan.....	33
4. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi.....	33
5. Penentuan Parameter Termodinamika.....	36
6. Analisis Permukaan.....	36
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
A. Sintesis Oligomer 2-Vinilpiridin.....	38
B. Karakterisasi Hasil Sintesis.....	39
1. Karakterisasi dengan <i>Mass Spectrometer (MS)</i>	39
2. Karakterisasi dengan <i>Spectrofotometer Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	44
C. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi.....	46
1. Metode <i>Wheel Test</i>	46
2. Metode <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	47
3. Metode Tafel.....	52
D. Mekanisme Adsorpsi dan Parameter Termodinamika.....	56
1. Adsorpsi Isoterm Langmuir.....	56
2. Adsorpsi Isoterm Temkin.....	60
3. Adsorpsi Isoterm Frumkin.....	63
4. Adsorpsi Isoterm Florry-Huggins.....	65
E. Analisis Permukaan dengan <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	67
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	69
A. Simpulan.....	69
B. Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	78
Lampiran I. Perhitungan Pembuatan Larutan.....	79
Lampiran II. Perhitungan Metode <i>Wheel Test</i>	81
Lampiran III. Perhitungan Berat Molekul.....	83
Lampiran IV. Gambar Ekstrapolarisasi kurva Nyquist metode EIS.....	85
Lampiran V. Perhitungan Metode EIS.....	98

Lampiran VI. Gambar Ekstrapolarisasi Kurva Polarisasi Metode Tafel	101
Lampiran VII. Perhitungan Metode Tafel.....	104
Lampiran VIII. Perhitungan Adsopsi isothermal.....	106
Lampiran IX. Perhitungan Parameter termodinamika	112

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur (a) 4-vinilpiridin dan (b) 2-vinilpiridin (Ilim, 2017).....	14
2. Spektrofotometer FTIR (Supratman, 2010).....	15
3. Alat spektrometer massa (Dachriyanus, 2004).	16
4. Kurva Nyquist ZnPO ₄ (Ajiriyanto, 2018).	20
5. Sirkuit ekivalen untuk sistem korosi di bawah kendali transfer	21
6. Kurva Nyquist monomer 2-VP dan hasil pengolahan data dari aplikasi EC-Lab ditunjukkan dengan kurva merah	22
7. Plot Tafel untuk laju korosi (Andreas, 2015).....	23
8. Kurva polarisasi monomer 2- VP dan hasil pengolahan data dari aplikasi EC-Lab ditunjukkan dengan kurva merah.....	24
9. Skema alat SEM (Handayani dan Sitompul., 1996).	30
10. Susunan alat sintesis O(2-VP) dengan susunan (1) tabung gas nitrogen, (2) <i>hot plate</i> , (3) penangas, (4) labu leher tiga, (5) termometer, (6) kondensor, (7) <i>water-in</i> dan <i>water-out</i> , dan (8) aerator.	32
11. Susunan Alat Elektrokimia Volta Lab dengan susunan (1) termometer, (2) <i>chamber glass</i> , (3) elektroda kerja (baja), (4) elektroda pembanding (Ag/AgCl), (5) <i>magnetic stirrer</i> , (6) elektroda bantu (Pt), (7) <i>waterbath</i> , (8) <i>sparging</i> CO ₂ , dan (9) <i>hot plate</i>	35
12. Skema Kerja Penelitian.....	37
13. Hasil Sintesis (a) O (2-VP) A, (b) O (2-VP) B, dan (c) O (2-VP) C.	38
14. Spektrum MS senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C .	39
15. Spektrum LC-MS O(2-VP) A untuk (a) $n= 1-2$, (b) $n= 3$, (c) $n= 4-5$, (d) $n= 6-7$, dan (e) $n= 8-10$	40
16. Spektrum LC-MS O(2-VP) B untuk (a) $n= 1-2$, (b) $n= 3$, (c) $n= 4-5$, (d) $n= 6-7$, dan (e) $n= 8-10$	41

17. Spektrum LC-MS O(2-VP) C untuk (a) $n= 1-2$, (b) $n= 3$, (c) $n= 4-5$, (d) $n= 6-7$, dan (e) $n= 8-10$	42
18. Spektrum FTIR senyawa monomer 2-VP, O(2-VP) A, O(2-VP)B, dan O(2-VP) C	44
19. Kurva Nyquist (a) monomer 2-VP, (b) O(2-VP) A, (c) O(2-VP) B, dan (d) O(2-VP) C pada suhu 30°C.	48
20. Kurva Nyquist senyawa O(2-VP) A pada suhu (a) 30, (b) 50, dan (c) 70°C	51
21. Kurva polarisasi untuk monomer 2-VP pada suhu (a) 30, (b) 50, dan (c) 70°C,	53
22. Kurva Polarisasi pada suhu 30°C, 50 °C, dan 70 °C untuk senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C.	54
23. Plot Langmuir senyawa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.....	57
24. Plot Van't Hoff senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP)C.	59
25. Plot Temkin senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C.	61
26. Plot Van't Hoff senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C.	62
27. Plot Van't Hoff senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C.	64
28. Plot Van't Hoff senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C	66
29. Citra permukaan baja lunak (a) sebelum perlakuan, (b) setelah diredam larutan blanko, (c) setelah penambahan inhibitor monomer 2-VP, (d) O(2-VP) A, (e) O(2-VP) B, dan (f) O(2-VP) C dipindai dengan SEM pada perbesaran 20000x.....	68
30. Kurva Nyquist monomer 2-VP suhu 30 dan 70°C.....	85
31. Kurva Nyquist O(2-VP) B suhu 50 dan 70°C.....	85
32. Kurva Nyquist O(2-VP) C suhu 50 dan 70°C.....	85
33. Kurva Nyquist monomer 2-VP (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL ⁻¹ pada suhu 30°C	86

34. Kurva Nyquist O(2-VP) A (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 30°C 87
35. Kurva Nyquist O(2-VP) B (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 30°C 88
36. Kurva Nyquist O(2-VP) C (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 30°C 89
37. Kurva Nyquist monomer 2-VP (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 50°C 90
38. Kurva Nyquist O(2-VP) A (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 50°C 91
39. Kurva Nyquist O(2-VP) B (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 50°C 92
40. Kurva Nyquist O(2-VP) C (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 50°C 93
41. Kurva Nyquist monomer 2-VP (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 70°C 94
42. Kurva Nyquist O(2-VP) A (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 70°C 95
43. Kurva Nyquist O(2-VP) B (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 70°C 96
44. Kurva Nyquist O(2-VP) C (a) blanko, dengan penambahan (b) 25, (c) 50, (d) 100, dan (e) 150 mgL⁻¹ pada suhu 70°C 97
45. Kurva polarisasi (a) blanko dengan penambahan 150 mg L⁻¹, (b) monomer 2-VP, (c) O(2-VP) A, (d) O(2-VP) B, dan O(2-VP) C pada suhu 30°C 101
46. Kurva polarisasi (a) blanko dengan penambahan 150 mg L⁻¹(b) monomer 2-VP, (c) O(2-VP) A, (d) O(2-VP) B, dan O(2-VP) C pada suhu 50°C 102
47. Kurva polarisasi (a) blanko dengan penambahan 150 mg L⁻¹(b) monomer 2-VP, (c) O(2-VP) A, (d) O(2-VP) B, dan O(2-VP) C pada suhu 70°C 103
48. Plot Frumkin senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C 109
49. Plot Florry- Huggins senyawa (a) O(2-VP) A, (b) O(2-VP) B, dan (c) O(2-VP) C. 111

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daerah pita serapan pada infra red.....	15
2. Massa gugus akhir untuk beberapa kombinasi senyawa O(4-VP) (Ilim, 2016).....	17
3. Massa oligomer (H ⁺) untuk variasi kombinasi gugus akhir senyawa O(4-VP) (Ilim, 2016).....	18
4. Intensitas relatif pada puncak- puncak yang muncul dalam spektrum MS senyawa O(2-VP) A.	40
5. Intensitas relatif pada puncak- puncak yang muncul dalam spektrum MS senyawa O(2-VP) B.....	41
6. Intensitas relatif pada puncak- puncak yang muncul dalam spektrum MS senyawa O(2-VP) C.....	42
7. Contoh prediksi struktur O(2-VP) hasil sintesis.	43
8. Bilangan gelombang pada spektrum FTIR senyawa monomer 2-VP, O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.	45
9. Hasil Wheel test senyawa O(2-VP) pada suhu 50°C	46
10. Nilai R _{ct} dan % proteksi dari monomer 2-VP, O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C pada suhu 30°C	48
11. Nilai R _{ct} dan persen proteksi dari monomer 2-VP, O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C pada suhu 50 dan 70°C.....	49
12. Persen proteksi dari O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C pada suhu 30, 50, dan 70°C	51
13. Hasil Perhitungan laju korosi dan persen proteksi metode Tafel monomer 2-VP dengan variasi suhu.	53

14. Hasil Perhitungan laju korosi dan persen proteksi metode Tafel O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP)C dengan variasi suhu.	55
15. Persen proteksi, nilai θ , nilai $\frac{C}{\theta}$ pada senyawa O(2-VP) A, O(2-VP) B, O(2-VP) C dengan suhu dan konsentrasi inhibitor bervariasi.	57
16. Parameter Langmuir O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.	58
17. Parameter termodinamika untuk senyawa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.	59
18. Parameter Temkin O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.	62
19. Parameter termodinamika senyawa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.	63
20. Parameter Termodinamika senyawa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP)C.	64
21. Parameter Termodinamika senyawa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.	66
22. Hasil pengukuran dimensi dan massa kupon baja lunak.	81
23. Intensitas relatif pada puncak-puncak yang muncul dalam spektrum MS senyawa O(2-VP) B.	83
24. Data hasil ekstrapolasi kurva Nyquist senyawa 2-VP, O(2-VP)A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C.	98
25. Data hasil ekstrapolarisasi kurva polarisasi Tafel.	104
26. Data persen proteksi, nilai $\frac{C}{\theta}$, dan nilai θ masing- masing senyawa.	106
27. Parameter Langmuir masing- masing senyawa.	107
28. Data persen proteksi, nilai $\ln C$, dan nilai θ masing- masing senyawa.	107
29. Parameter Temkin masing- masing senyawa.	108
30. Persen proteksi, nilai $\ln \left(\frac{\theta}{C(1-\theta)} \right)$, dan nilai θ masing- masing senyawa.	109
31. Parameter Frumkin masing- masing senyawa.	110
32. Persen proteksi, nilai $\ln (1-\theta)$, dan $\ln \left(\frac{\theta}{C} \right)$ masing- masing senyawa.	110
33. Hasil perhitungan termodinamika pada persamaan Langmuir.	112

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Korosi merupakan suatu masalah besar yang paling sering dijumpai baik pada skala rumah tangga maupun pada skala industri. Secara definisi korosi adalah serangkaian proses degradasi atau perusakan mutu suatu material (biasanya logam) akibat interaksi alamiah atau buatan terhadap lingkungan. Selain itu, kerusakan terhadap logam-logam tersebut dapat dipengaruhi oleh adanya gas oksigen, amoniak, klorida, air, larutan garam, basa, asam, dan juga akibat arus listrik. Pada umumnya korosi yang paling banyak terjadi adalah korosi yang disebabkan oleh udara dan air, karena adanya air yang mengalir melalui saluran air atau pipa industri (Utami dkk., 2017) yang dapat melarutkan gas-gas penyebab korosi seperti hidrogen sulfida (H_2S), oksigen (O_2), klorida (Cl_2), dan karbon dioksida (CO_2) (Liu *et al.*, 2014; Fang *et al.*, 2013).

Pada industri gas dan minyak bumi, korosi yang terjadi umumnya disebabkan oleh adanya gas CO_2 . Korosi karbon dioksida (CO_2) terbentuk dari reaksi gas CO_2 dengan H_2O yang akan menghasilkan asam karbonat (H_2CO_3). Menurut Zhang *et al* (2018) korosi yang disebabkan oleh asam karbonat lebih agresif dibandingkan dengan asam klorida pada kondisi pH yang sama. Asam karbonat mampu mengkorosi pada bagian dalam pipa-pipa yang terbuat dari baja lunak (Nesic and Lee, 2010) yang dapat menyebabkan adanya kebocoran pada pipa minyak dan gas, sehingga mampu memberikan dampak buruk baik dalam segi ekonomi, keselamatan, maupun lingkungan. Beberapa diantaranya yaitu dibutuhkan biaya yang sangat besar untuk pergantian bahan dan material pipa, dan juga dapat mencemarkan lingkungan serta membunuh biota yang ada di sekitarnya.

Banyaknya dampak buruk yang diakibatkan oleh korosi, maka perlu dilakukan pengendalian terhadap korosi tersebut. Beberapa metoda pengendalian korosi yang dapat dilakukan antara lain; perencanaan dan pemilihan bahan, proteksi anodik dan katodik (Ian dkk., 2019), *coating*, dan penggunaan inhibitor korosi (Ilim dkk., 2016). Salah satu metoda yang sangat populer dalam pengendalian korosi karena mudah dan efektif dalam penggunaannya adalah dengan penambahan inhibitor. Inhibitor korosi merupakan senyawa yang ditambahkan dalam jumlah sedikit pada media korosif sehingga dapat menurunkan laju korosi.

Inhibitor korosi dibagi menjadi 2 yaitu inhibitor anorganik dan inhibitor organik. Umumnya inhibitor anorganik bersifat beracun dan tidak ramah lingkungan, seperti fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat, molibdat dan arsenat. Sedangkan inhibitor organik tidak bersifat toksik dan ramah lingkungan, sehingga inhibitor organik lebih banyak digunakan. Sebagian besar inhibitor yang digunakan dalam industri adalah senyawa organik yang mengandung atom nitrogen, oksigen, fosfor, sulfur dan terdapat ikatan rangkap dua atau rangkap tiga yang berperan penting dalam memfasilitasi adsorpsi senyawa inhibitor ke permukaan logam dengan membentuk ikatan antara pasangan elektron dan awan elektron *pi* dari atom donor dengan lubang logam, sehingga mampu mengurangi serangan korosif dalam media asam (Ferreira dkk., 2018).

Inhibitor organik dapat diperoleh melalui ekstrak senyawa dari alam atau dapat juga diperoleh dengan cara disintesis. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penggunaan inhibitor korosi CO₂ dari ekstrak bahan alam oleh Ibrahim dkk (2016), Chen dkk (2017), Hu dkk (2018), Jinchang dkk (2019), dan imidazoline (Singer & Ne, 2015; Zhang dkk., 2015; Sudiarti, 2017; Qian & Cheng, 2019). Selain itu, inhibitor organik yang disintesis memiliki beberapa keunggulan yaitu mampu diproduksi secara massal dan memiliki waktu yang singkat serta strukturnya dapat dimodifikasi sesuai yang diinginkan. Salah satu contohnya senyawa yang diketahui memiliki aktivitas sebagai inhibitor korosi dan terus dikembangkan adalah polimer (inhibitor polimerik).

Menurut Eliyan and Alfantazi (2014), inhibitor polimerik memiliki kemampuan membentuk kompleks dengan ion logam yang dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Berbagai senyawa polimer telah diteliti kemampuannya sebagai inhibitor korosi contohnya senyawa yang mengandung heteroatom (Lin *et al.*, 2014; Ilim *et al.*, 2016; Ilim *et al.*, 2017; Eduok *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018; Al-shihry dkk., 2020; Saadi dkk., 2019), dan pirimidin (Onyeachu dkk., 2019). Adapun, penggunaan senyawa polimer dengan berat molekul rendah yaitu oligomer 4-vinilpiridin telah dilakukan oleh Ilim dkk (2016), Ilim (2017), Ilim *et al* (2021) serta oligomer 2-Vinilpiridin oleh Ilim (2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa oligomer 4-vinilpiridin dan oligomer 2-vinilpiridin dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif yang mengandung CO₂ sehingga mampu menginhibisi korosi pada variasi konsentrasi dan suhu. Oligomer 4-vinilpiridin dan oligomer 2-vinilpiridin secara keseluruhan dapat menurunkan laju korosi semakin baik seiring dengan semakin tinggi konsentrasi. Namun pengaruh suhu kedua senyawa berbeda, proteksi oligomer 4-vinilpiridin lebih baik pada suhu lebih tinggi (kemisorpsi) sedangkan proteksi oligomer 2-vinilpiridin lebih baik pada suhu rendah (fisorpsi). Diprediksi terjadi interaksi antara inhibitor korosi dengan permukaan baja lunak secara adsorpsi kimia untuk oligomer 4-vinilpiridin dan adsorpsi fisika untuk oligomer 2-vinilpiridin. Dengan demikian untuk membuktikan mekanisme inhibisi pada permukaan baja lunak perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Pada penelitian ini, senyawa yang digunakan sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif adalah oligomer 2-vinilpiridin (O(2-VP)) yang berbeda posisi atom nitrogen dengan oligomer 4-vinilpiridin. Senyawa O(2-VP) dipelajari mengenai mekanisme adsorpsi dengan perbedaan konsentrasi inisiator dalam sintesis oligomer yang digunakan sebagai inhibitor korosi pada permukaan baja lunak dalam medium korosif mengandung CO₂. Tahapan penelitian ini yaitu mensintesis oligomer 2-vinilpiridin menggunakan konsentrasi inisiator H₂O₂ bervariasi untuk mendapatkan suatu oligomer 2-vinilpiridin dengan perbedaan berat molekul, kemudian mengkarakterisasi struktur dan berat molekul menggunakan *Spectrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Mass*

Spectrometer (MS). Selanjutnya melakukan uji aktivitas sebagai inhibitor korosi menggunakan metode *wheel test* dan metode elektrokimia. Setelah itu data hasil persen proteksi inhibisi dari EIS dimasukkan ke dalam empat model adsorpsi yaitu, Langmuir, Temkin, Frumkin, dan Flory-Huggins, sehingga dapat diketahui model adsorpsi isoterm mana yang sesuai untuk interaksi antara O(2-VP) pada permukaan baja lunak. Selain itu juga ditentukan termodinamika adsorpsi dan analisis permukaan.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan sintesis oligomer 2-vinilpiridin menggunakan inisiator H_2O_2 dengan konsentrasi bervariasi untuk mendapatkan senyawa dengan berat molekul berbeda, mengkarakterisasi struktur dan berat molekulnya, menentukan kemampuan inhibisinya sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam medium NaCl 3% yang jenuh CO_2 .
2. Menentukan mekanisme adsorpsi inhibisi korosi oligomer 2-vinilpiridin pada permukaan baja lunak menggunakan persamaan Langmuir, Temkin, Frumkin, dan Flory-Huggins dengan konsentrasi dan suhu yang divariasikan.
3. Menentukan besaran termodinamika adsorpsi dan analisis permukaan.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui hubungan berat molekul dengan aktivitas oligomer 2-vinilpiridin sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium NaCl 3% yang jenuh dengan CO_2 .
2. Dapat mengetahui mekanisme inhibisi, besaran termodinamika dan struktur permukaan baja lunak dengan dan tanpa inhibitor korosi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi

Korosi berasal dari bahasa latin *corrodere*, yang merupakan penurunan mutu logam akibat adanya reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Logam yang mengalami penurunan mutu tidak hanya melibatkan reaksi kimia namun juga reaksi elektrokimia, yakni antara bahan-bahan yang bersangkutan dengan terjadinya perpindahan elektron (Singhbabu, *et.al.*, 2015).

Korosi menjadi salah satu masalah pada bidang ekonomi karena menyangkut umur, penyusutan dan efisiensi pemakaian suatu bahan maupun peralatan terutama dalam kegiatan industri. Banyaknya uang telah dikeluarkan setiap tahunnya untuk merawat jembatan, peralatan perkantoran, kendaraan bermotor, mesin-mesin industri, serta peralatan elektronik lainnya agar konstruksinya dapat bertahan lama (Valdez, *et.al.*, 2014). Selain itu, dampak yang dapat ditimbulkan akibat kerusakan oleh korosi dari segi lingkungan, seperti adanya proses pengkaratan besi yang berasal dari berbagai konstruksi yang dapat mencemarkan lingkungan (Zeba *et al.*, 2015)).

Korosi yang menyerang pada peralatan industri biasanya peralatan yang terbuat dari baja. Baja merupakan paduan yang sebagian besar terdiri dari unsur besi (Fe) dan karbon (C) 0,2% - 2,14%. Selain itu juga mengandung unsur-unsur lain seperti sulfur, fosfor, silikon, mangan, karbon dan oksigen, nitrogen dan alumunium yang masing-masing presentasinya kecil. Berdasarkan komposisinya baja dibedakan menjadi baja karbon (*Carbon Steel*) dan baja paduan (*Alloy Steel*).

1. Baja Karbon

Baja karbon didefinisikan sebagai campuran karbon (C) dan besi (Fe), umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit paduan lainnya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi, selain itu dapat meningkatkan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). Berdasarkan konsentrasi karbonnya menurut Saedeed *et al* (2015), baja karbon digolongkan menjadi tiga meliputi baja karbon rendah, baja karbon sedang, dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon antara 0,10 – 0,30 %. Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon antara 0,30 – 0,80 %. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung karbon diatas 0,80 %. Baja karbon ini banyak digunakan untuk keperluan pembuatan alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi.

2. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan merupakan suatu baja yang tercampur dengan satu atau lebih unsur campuran. Sifat- sifat yang dimiliki oleh baja paduan meliputi sifat kelenturan, magnetis, koefisien spesifik, serta pemuaian panas pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam. Menurut Frihat, M.H (2015) baja paduan terbagi dalam 3 jenis yaitu: baja paduan rendah, menengah, dan tinggi. Baja paduan rendah (*low alloy steel*) merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5 % wt. Baja paduan menengah (*medium alloy steel*) memiliki elemen paduan 2,5% -10% wt. Baja paduan tinggi (*high alloy steel*) memiliki elemen paduan lebih dari 10% wt. Terdapat kandungan unsur-unsur paduan lain pada baja yang biasanya merupakan ikatan berasal dari pembuatan baja seperti mangan dan silikon. Sedangkan unsur pengotor, seperti belerang, fosfor, oksigen, nitrogen dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil.

B. Proses Korosi

Korosi logam melibatkan dua proses, yaitu proses anodik, terjadi ketika oksidasi logam menjadi ion dengan melepaskan elektron ke dalam (permukaan) logam dan proses katodik yang menggunakan elektron tersebut dengan laju yang sama.

Sedangkan proses katodik biasanya merupakan reduksi ion hidrogen atau oksigen dari lingkungan sekitarnya (Gatot, 2015). Contoh dalam kehidupan sehari – hari yaitu korosi pada logam besi atau besi yang teroksidasi (karat) dengan rumus $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$. Proses perkaratan termasuk proses elektrokimia, di mana logam Fe yang teroksidasi bertindak sebagai anoda dan oksigen yang terlarut dalam air yang ada pada permukaan besi bertindak sebagai katoda. Reaksi perkaratan dapat nyatakan setengah reaksi oksidasi (Reaksi 2.1) dan setengah reaksi reduksi (Reaksi 2.2):



Fe^{2+} yang dihasilkan, berangsur-angsur akan dioksidasi membentuk Fe^{3+} .

Sedangkan OH^{-} akan bergabung dengan elektrolit yang ada di alam atau dengan ion H^{+} dari terlarutnya oksida asam (SO_2 , NO). Dari Persamaan 2.3 dihasilkan karat dengan rumus senyawa $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$.

C. Faktor Penyebab Korosi

Beberapa faktor yang menyebabkan timbulnya percepatan korosi, yaitu:

a. Uap air dan oksigen udara

Air merupakan salah satu faktor penting untuk berlangsungnya proses korosi.

Udara yang banyak mengandung uap air (lembab) akan mempercepat berlangsungnya proses korosi pada permukaan logam. Oksigen dari udara yang larut dalam air akan tereduksi, sedangkan air berfungsi sebagai media tempat berlangsungnya reaksi redoks pada peristiwa korosi. Semakin banyak jumlah O_2

dan H₂O yang mengalami kontak dengan permukaan logam, maka semakin cepat berlangsungnya korosi pada permukaan logam (Chen *et al.*, 2021).

b. Karbon dioksida

Karbon dioksida yang terlarut dalam air dianggap penyebab dasar korosi pada pipa minyak dan gas. Meningkatnya gas CO₂ menunjukkan bahwa laju korosi semakin tinggi (Asadian *et al.*, 2019).

c. Larutan Garam Elektrolit (asam atau garam)

Merupakan media yang baik untuk proses transfer muatan, sehingga elektron lebih mudah untuk diikat oleh oksigen di udara. Contohnya air hujan banyak mengandung asam, dan air laut banyak mengandung garam, maka air hujan dan air laut merupakan penyebab korosi yang utama. Larutan ini biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi yang tinggi. Proses ini disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam lebih konduktif sehingga menyebabkan laju korosi juga akan lebih tinggi. Peningkatan konsentrasi elektrolit dapat meningkatkan laju korosi yang mampu merusak lapisan pasivasi yang terbentuk, sehingga dapat menurunkan sifat mekanik suatu logam (Hamidah *et al.*, 2021).

d. Permukaan logam yang tidak rata

Permukaan logam yang tidak rata memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda. Permukaan logam yang licin dan bersih menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anode dan katode.

e. Temperatur

Temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi redoks pada peristiwa korosi. Secara umum, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya korosi. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar. Dengan demikian laju korosi pada logam semakin meningkat (Asadian *et al.*, 2019).

f. pH

Peristiwa korosi pada kondisi asam, yakni pada kondisi $\text{pH} < 7$ semakin besar, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katoda yang menyebabkan lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar (Dastgerdi *et al.*, 2019).

g. Efek *Galvanic Coupling*

Efek *Galvanic Coupling*, yakni timbulnya perbedaan potensial pada permukaan logam akibat perbedaan E° antara atom-atom unsur logam yang berbeda dan terdapat pada permukaan logam dengan kemurnian rendah. hal ini memicu korosi pada permukaan logam melalui peningkatan reaksi oksidasi pada daerah anoda.

D. Korosi CO_2

Pada industri dan pertambangan minyak dan gas, sistem perpipaan, transportasi dan sumur produksi minyak mentah (*crude oil*) sangat rentan terhadap korosi akibat keberadaan garam-garam anorganik (garam klorida, sulfat, dan karbonat); asam-asam organik dengan berat molekul rendah (asam format, asetat, dan propanoat); serta adanya gas CO_2 dan H_2S yang kadarnya bergantung pada lokasi sumur (Asadian *et al.*, 2019). Adanya senyawa-senyawa tersebut pada pipa penyalur *crude oil* dapat meningkatkan potensi korosi, ditambah lagi dengan adanya injeksi gas CO_2 pada sumur minyak dapat menyebabkan korosi CO_2 pada pipa semakin meningkat. Adanya interaksi antara gas CO_2 dengan fasa cair akan menyebabkan korosi internal pada material yang dikenal sebagai korosi CO_2 .

Korosi CO_2 pada intinya merupakan masalah korosi yang disebabkan asam karbonat. Mekanisme reaksi yang terjadi ditunjukkan pada persamaan berikut:

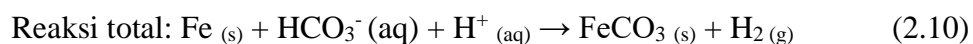
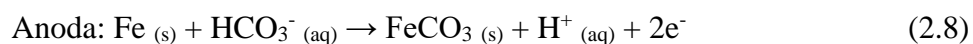
1. Pelarutan CO_2 yang bereaksi membentuk H_2CO_3 , ditunjukkan pada Reaksi (2.4 dan 2.5):



2. Asam karbonat terbentuk akan terdisosiasi menjadi bikarbonat dan ion karbonat, dimana setiap tahap akan menghasilkan ion hydrogen, ditunjukkan pada Reaksi (2.6 dan 2.7):



Dengan demikian proses korosi yang terjadi dapat dilihat pada Reaksi (2.8: 2.9; dan 2.10):



Reaksi ini menghasilkan suasana yang asam, dan ion hydrogen akan menyerang besi pada pipa penyalur gas alam dan pipa mengalami oksidasi atau mengalami pengikisan. Pengikisan ini akan terus terjadi hingga ion hydrogen yang dihasilkan habis tidak bereaksi. Keberadaan gas CO₂ di dalam air dapat mempercepat reaksi korosi logam. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh keasaman dari gas CO₂ sehingga dapat membentuk ion karbonat. Ion karbonat ini bertindak sebagai ligan dan mengkatalisis reaksi pelarutan logam sehingga akan terjadi proses korosi. Apabila logam yang dimaksud adalah baja karbon maka produk korosi yang akan terbentuk adalah besi karbonat (FeCO₃) yang dapat mengendap pada permukaan logam membentuk lapisan tipis (Liu *et al.*, 2014). Dengan demikian, perlu dilakukan pengendalian terhadap korosi CO₂ salah satunya menggunakan penambahan inhibitor yang sebelumnya pernah dilakukan Jinchang *et al* (2019), Chen *et al* (2017), Ibrahim dkk (2016), dan Ilim *et al* (2021).

E. Inhibitor Korosi

Banyaknya dampak yang ditimbulkan dari korosi perlu dilakukan penanggulangan dengan cara pelapisan (*coating*), pemilihan material (*material selection*), proteksi katoda atau anoda, dan penambahan inhibitor. Penanggulangan korosi dengan penambahan inhibitor lebih banyak digunakan, karena secara umum inhibitor

bereaksi melalui proses adsorpsi permukaan dengan membentuk lapisan terhadap permukaan logam yang menunjukkan efisiensi inhibisi lebih baik. Inhibitor korosi adalah zat yang ketika ditambahkan dalam konsentrasi kecil pada lingkungan efektif mengurangi laju korosi logam pada lingkungan tersebut. Pada umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik yang mengandung gugus-gugus yang memiliki pasangan elektron bebas, seperti nitrit, kromat, fosfat dan senyawa-senyawa amina (Zhang *et al.*, 2019).

Senyawa-senyawa organik yang dapat digunakan sebagai inhibitor adalah senyawa-senyawa yang mampu membentuk senyawa kompleks dengan ikatan kovalen terkoordinasi, seperti atom nitrogen, belerang dan oksigen. Pada atom O, N, S, dan P diasumsikan memiliki kebiasaan yang lebih tinggi dan kepadatan elektron dan dengan demikian bertindak sebagai inhibitor korosi. Contoh senyawa organik yang digunakan sebagai inhibitor yaitu imidazoline (Singer and Ne, 2015; Zhang *et al.*, 2015; Sudiarti, 2017; Qian and Cheng, 2019), 4-Vinilpiridin (Ilim *et al.*, 2021).

Menurut Dalimunte (2004) mekanisme kerja inhibitor yang terjadi adalah inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya. Inhibitor membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam dan menghilangkan konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Menurut Landolt (2007) inhibitor korosi dapat diklasifikasikan berdasarkan aplikasinya yaitu inhibitor pada lingkungan asam dan inhibitor pada lingkungan netral. Inhibitor pada lingkungan asam digunakan untuk mengurangi korosi selama proses penghilangan kerak oksida pada peralatan pengeboran, sedangkan Inhibitor pada lingkungan netral digunakan untuk melindungi *cooling water circuit*, inhibitor tidak hanya mengurangi laju korosi merata, namun juga melindungi logam dari korosi lokal dan korosi retak teggangan.

Adapun inhibitor korosi diklasifikasikan berdasarkan reaksi elektrokimia yaitu inhibitor anodik dan inhibitor katodik. Inhibitor anodik bekerja dengan

mengurangi laju korosi suatu logam dengan memperlambat reaksi elektrokimia melalui pembentukan lapisan pasif di permukaan logam untuk menghalangi pelarutan anoda. Lapisan pasif yang terbentuk mempunyai potensial korosi yang tinggi atau menaikkan polarisasi anodik. Contoh senyawa inhibitor anodik adalah kromat, nitrat, molibdat, silikat, fosfat, dan borat (Roberge, 2008). Sedangkan inhibitor katodik bekerja dengan memperlambat reaksi katodik untuk menurunkan laju korosi dengan bereaksi dengan OH untuk mengendapkan senyawa-senyawa tidak larut pada permukaan logam, sehingga dapat menghalangi masuknya oksigen. Contoh inhibitor katodik adalah Zn, CaCO_3 , dan polifosfat (Dalimunte, 2004).

Adapun klasifikasi inhibitor korosi berdasarkan mekanisme kerja yaitu inhibitor adsorpsi, inhibitor pasivasi, dan inhibitor presipitasi. Umumnya inhibitor adsorpsi berupa senyawa organik yang dapat mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif, dengan cara membentuk senyawa kompleks berupa lapisan tipis. Lapisan tipis tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya. Contoh jenis inhibitor ini adalah tanin dan merkaptobenzotiazol (Dalimunte, 2004). Inhibitor pasivasi pada baja yang terkorosi akan membentuk lapisan pelindung berupa oksida besi yang menyebabkan laju korosi menurun. Inhibitor pasivasi bisa dijadikan sebagai agen pengoksidasi. Contoh agen pengoksidasi adalah natrium fosfat, yang membentuk lapisan pasif pada permukaan logam untuk menghasilkan besi oksida atau hidroksida yang bersifat sebagai proteksi (Fardhyanti, 2004). Sedangkan inhibitor presipitasi bekerja dengan membentuk presipitat di seluruh permukaan suatu logam yang berperan sebagai lapisan pelindung untuk menghambat reaksi anodik dan katodik logam secara tidak langsung. Contoh inhibitor presipitasi adalah silikat dan fosfat. (Roberge, 2008).

Berdasarkan zat kimia penyusunnya inhibitor korosi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu inhibitor anorganik dan organik. Inhibitor anorganik adalah senyawa yang mengandung unsur fosfat, kromat, dikromat, silikat, borat, molibdat dan arsenat. Inhibitor anorganik bersifat sebagai inhibitor anodik karena inhibitor ini memiliki gugus aktif, yaitu anion negatif yang berguna untuk mengurangi

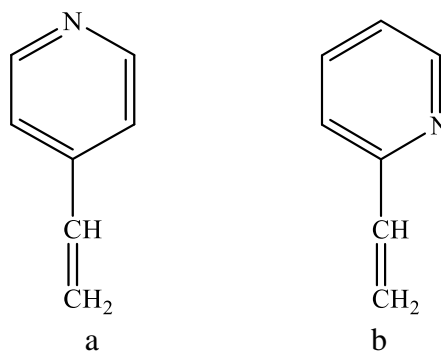
korosi, tetapi mempunyai kelemahan utama yaitu bersifat toksik (Liu *et al.*, 2016). Sedangkan inhibitor organik adalah senyawa karbon yang mengandung atom nitrogen, sulfur, atau oksigen dalam strukturnya serta memiliki pasangan elektron bebas. Inhibitor organik diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu sintetis dan isolasi bahan alam. Inhibitor sintetis mempunyai keuntungan antara lain dapat disintesis senyawa yang diinginkan. Beberapa inhibitor sintetis dari senyawa oligomer dengan proteksi cukup baik telah dilakukan sintesis oligomer 4-vinilpiridin (Ilim *et al.*, 2016) dan oligomer 4-vinilpiperidina (Ilim *et al.*, 2017). Pada penelitian ini senyawa yang digunakan adalah 2-vinilpiridin.

F. Polivinilpiridin

Polivinilpiridin (PVP) adalah senyawa polimer yang dihasilkan dengan cara mensintesis dari beberapa monomer vinilpiridin menggunakan inisiator H_2O_2 yang banyak digunakan sebagai inhibitor korosi, karena jika PVP dalam bentuk polimer akan sangat tahan terhadap substitusi aromatik elektrofilik dan mempunyai reaktivitas kimia yang tinggi dengan cincin nitrogen dan basa lemah, sehingga mampu membentuk suatu film polimer pelindung pada permukaan. PVP dengan rantai yang lurus atau terbuka dapat disintesis salah satunya dengan cara inisiasi radikal bebas yang dilakukan menggunakan inisiator seperti; benzoil peroksida, hidrogen peroksida (Ilim, 2016) dan azobis (isobutironitril) (Sideridou *et al.*, 2006).

Pada penelitian sebelumnya senyawa vinilpiridin telah dilakukan oleh Ilim. (2017) monomer yang digunakan adalah 4-vinilpiridin dan 2- vinilpiridin. Senyawa 2- vinilpiridin yang memiliki kemiripan dengan senyawa 4-vinilpiridin, yang membedakan letak atom nitrogen. Dengan demikian dilakukan penelitian lebih lanjut pada senyawa 2-vinilpiridin, karena pada penelitian sebelumnya belum diuji berat molekul dan uji inhibisinya hanya menggunakan LPR, sedangkan pada penelitian ini dilakukan pengujian berat molekul dan uji inhibisi menggunakan metode elektrokimia. Vinilpiridin merupakan senyawa organik berwarna kuning

yang memiliki bau yang tajam dan dapat larut dalam pelarut organik. Adapun spektrum FTIR dari 4-vinilpiridin yang didapatkan menunjukkan adanya puncak yang khas dengan gugus fungsi vinilpiridin yaitu pada daerah 1408 dan 1222 cm^{-1} yang merupakan renggangan gugus fungsi C-N dan pada daerah 1595 cm^{-1} merupakan renggangan gugua fungsi C=N aromatik (Ilim *et al.*, 2021). Struktur 4-VP dan 2-VP dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur (a) 4-vinilpiridin dan (b) 2-vinilpiridin (Ilim, 2017).

Berdasarkan Gambar 1 terlihat kemiripan struktur senyawa hanya saja yang membedakan letak atom nitrogen pada 4-vinilpiridin dengan posisi para sedangkan 2-vinilpiridin dengan posisi orto. Selanjutnya, monomer 2-vinilpiridin disintesis untuk mendapatkan suatu oligomer 2-vinilpiridin dengan metode yang sama yang merujuk pada penelitian Ilim (2016) dan Ilim *et al* (2021). Pada penelitian ini digunakan konsentrasi inisiator H_2O_2 yang bervariasi dan hasilnya dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk menentukan struktur molekul serta digunakan *Mass Spectrometry* (MS) untuk menentukan berat molekul.

1. Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

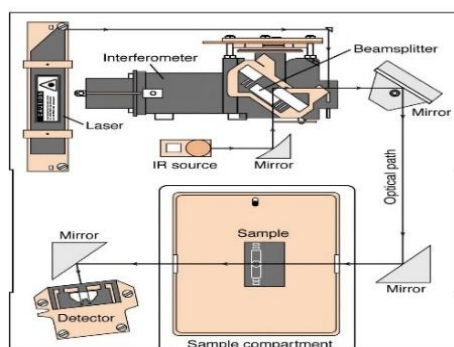
Infra red spektroskopi, salah satu metode untuk mengidentifikasi ikatan - ikatan kimia dan gugus-gugus fungsi lainnya dengan mengukur eksitasi vibrasi dari atom-atom di sekeliling ikatan yang menghubungkan atom-atom tersebut. Posisi dari garis-garis absorpsi infrared bergantung pada tipe gugus fungsi yang diperiksa, dan spektra infrared secara keseluruhan merupakan sidik jari yang unik

dari suatu molekul tertentu (Hutapea, 2015). Molekul yang menyerap energi akan mengalami perubahan energi vibrasi dan perubahan tingkat energi rotasi. FTIR akan mendeteksi suatu sampel pada tingkat gugus fungsi. Dapat dilihat Tabel 1 ini daerah serapan pada setiap gugus fungsi.

Tabel 1. Daerah pita serapan pada *infra red*

Gugus	Jenis Senyawa	Daerah Serapan (cm^{-1})
C-H	Alkana	2850-2960, 1350-1470
C-H	Alkena	3020-3080, 675-870
C-H	Aromatik	3000-3100, 675-870
C-H	Alkuna	3300
C=C	Alkena	1640-1680
C=C	Aromatik (cincin)	1500-1600
C-O	Alkohol, eter, asam karboksilat, ester	1080-1300
C=O	Aldehida, keton, asam karboksilat, ester	1690-1760
O-H	Alkohol, fenol(monomer)	3610-3640
O-H	Alkohol, fenol (ikatan H)	2000-3600 (lebar)
O-H	Asam karboksilat	3000-3600 (lebar)
N-H	Amina	3310-3500
C-N	Amina	1180-1360
-NO ₂	Nitro	1515-1560, 1345-1385

Syarat suatu gugus fungsi dalam suatu senyawa dapat terukur pada spektra IR adalah adanya perbedaan momen dipol pada gugus fungsi tersebut. Vibrasi ikatan akan menimbulkan fluktuasi momen dipol yang menghasilkan gelombang listrik (Supratman, 2010). Adapun skema alat spektrofotometer FTIR sebagai berikut:



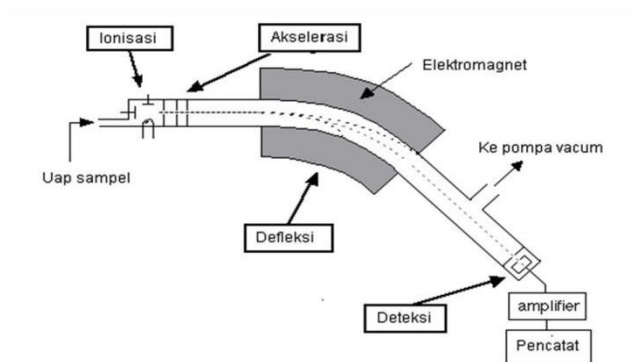
Gambar 2. Spektrofotometer FTIR (Supratman, 2010).

Penggunaan FTIR pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi hasil sintesis. Senyawa organik yang berfungsi sebagai inhibitor korosi adalah senyawa yang mengandung atom nitrogen (N), oksigen (O), fosfor (P), sulfur (S), atau senyawa heterosiklik yang memiliki elektron *phi* (π) (Ahamad *et al.*, 2010). Dengan demikian digunakan FTIR untuk mengetahui hasil sintesis apakah terdapat gugus atom nitrogen atau atom lain yang memiliki sifat penghambat laju korosi (Silverstein *et al.*, 2005).

2. *Mass Spectrometry* (MS)

Secara umum, MS digunakan untuk menentukan massa suatu molekul senyawa murni, menentukan rumus molekul, dan mengetahui informasi struktur dengan melihat pola fragmentasinya (m/e). Ion molekul dapat diputus-putus lagi atau difragmentasi dalam fragmentasi yang lebih kecil yang didapat guna untuk penentuan struktur molekul. Perangkat yang digunakan untuk memproduksi ion-ion selalu memberikan energi vibrasional yang cukup berlebih kepada ion-ion. Selanjutnya digunakan berfragmentasi menghasilkan ion baru dengan kehilangan fragmen netral (Riyanto, 2005).

Skema alat spektrofotometer massa sebagai berikut:



Gambar 3. Alat spektrometri massa (Dachriyanus, 2004).

Menurut Dachriyanus (2004), tahapan analisis MS ada 4 yaitu ionisasi, akselerasi, defleksi, dan deteksi. Pada saat diionisasi, molekul akan kehilangan satu atau

lebih elektron sehingga memberikan muatan positif. Partikel sampel (atom atau molekul) akan ditembak dengan elektron sehingga elektron dari partikel akan lepas dan memberikan ion positif. Selanjutnya ion yang terbentuk diakselerasi sehingga seluruhnya akan mempunyai energi kinetik yang sama. Lalu didefleksi (dibelokkan) oleh medan magnet sesuai dengan massanya. Semakin ringan massanya maka akan semakin terdefleksi dari medan magnet. Besarnya defleksi juga tergantung pada berapa besar muatan positif pada ion atau berapa elektron yang lepas. Selain itu, tergantung pada massa ion dan muatan ion. Proses terakhir ion yang melewati mesin akan dideteksi secara elektrik dan sampai pada detektor. Aliran elektron akan dideteksi sebagai arus listrik yang bisa dicatat. Makin banyak ion yang mencapai kotak logam, makin besar arus yang dihasilkan.

Hasil spektrum dengan berat molekul yang diperoleh dapat dirumuskan struktur molekul senyawa hasil sintesis O(4-VP) dengan merujuk pada penelitian Ilim (2016) yaitu: $(105)n + 32 + 1$. Dengan 105 adalah massa monomer, n adalah jumlah unit monomer, 32 adalah massa gabungan dari gugus akhir dan 1 adalah massa dari satu proton. Berdasarkan hasil yang didapatkan kedua gugus akhir untuk masing-masing senyawa kemungkinan berkombinasi seperti matrik yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan untuk massa yang dihitung sampai monomer $n=9$ dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 2. Massa gugus akhir untuk beberapa kombinasi senyawa O(4-VP) (Ilim, 2016).

Massa	Gugus Akhir				
	C=C (m= -1)	H (m=1)	OH (m= 17)	CH ₃ (m=15)	OCH ₃ (m=31)
H (m=1)	0	2			
OH (m= 17)	16	18	34		
CH ₃ (m= 15)	14	16	32	30	
OCH ₃ (m= 31)	30	32	48	46	62

Tabel 3. Massa oligomer (H^+) untuk variasi kombinasi gugus akhir senyawa O(4-VP) (Ilim, 2016).

Unit (n)	Massa Gugus Akhir (E)										
	0	2	14	16	18	30	32	34	46	48	62
1	106	108	120	122	124	136	138	140	152	154	168
2	211	213	225	227	229	241	243	245	257	259	273
3	316	318	330	332	334	346	348	350	362	364	378
4	421	423	435	437	439	451	453	455	467	469	483
5	526	528	540	542	544	556	558	560	572	574	588
6	631	633	645	647	649	661	663	665	677	679	693
7	736	738	750	752	754	766	768	770	782	784	798
8	841	843	855	857	859	871	873	875	887	889	903
9	946	948	960	962	964	976	978	980	992	994	1008

$$\text{Massa Oligomer} = (105)n + E + 1$$

Dari hasil spektrum senyawa oligomer 4-vinilpiridin didapatkan informasi kelimpahan massa (m/z) dengan persen intensitas yang berbeda. Selanjutnya dapat dihitung berat molekul rata-rata setiap senyawa menggunakan Persamaan (2.11):

$$\text{Berat molekul}(m/z) \text{ rata-rata} = \frac{((m/z) \times I)_1 + ((m/z) \times I)_2 + \dots + ((m/z) \times I)_n}{(I)_1 + (I)_2 + \dots + (I)_n} \quad (2.11)$$

Dengan m/z adalah kelimpahan massa dan I adalah persen intensitas relatif. Berat molekul rata-rata didapatkan dengan mengkalikan m/z dan I dari unit monomer = 1 sampai n , kemudian dibagi dengan jumlah persen intensitas setiap monomer. Penentuan struktur hasil sintesis O(2-VP) dilakukan metode yang sama seperti penelitian sebelumnya (Ilim, 2016).

G. Penentuan Laju Korosi

Penentuan laju korosi dapat dilakukan menggunakan metode kehilangan berat (*wheel test*) dan metode elektrokimia.

1. Metode Kehilangan Berat (*wheel test*)

Metode *wheel test* atau kehilangan berat menggunakan kupon atau lempengan baja yang dibiarkan terkorosi dan kemudian diberikan inhibitor untuk mengetahui kemampuan inhibisi masing- masing inhibitor pada permukaan logam.

Selanjutnya data kehilangan berat yang diperoleh dihitung laju korosi dengan Persamaan (2.12 dan 2.13) (Ilim, 2017):

$$W_t = W_0 + W_i \quad (2.12)$$

$$CR = 10 \times \frac{W_t}{A} \times \frac{1}{D} \times \frac{365}{t} \quad (2.13)$$

dengan W_t (*Weight loss*) adalah kehilangan berat (gram), W_0 adalah berat awal, W_i adalah berat akhir, CR (*Corrosion rate*) adalah laju korosi (mmpy = *millimeter per year*), A (*Area of coupon*) adalah luas permukaan (cm²), D (*Density of metal*) adalah kerapatan (g cm⁻³) yang setara dengan 7,86 g cm⁻³ untuk baja lunak, dan t (*time of exposure*) adalah waktu perlakuan (hari).

Persamaan untuk mengetahui efisiensi inhibisi suatu inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat dilihat pada Persaman (2.14) berikut:

$$\%P = \frac{(CR_0 - CR_i)}{CR_0} \times 100 \% \quad (2.14)$$

dengan $\%P$ adalah persen proteksi, CR_0 adalah laju korosi tanpa inhibitor, dan CR_i adalah laju korosi dengan inhibitor.

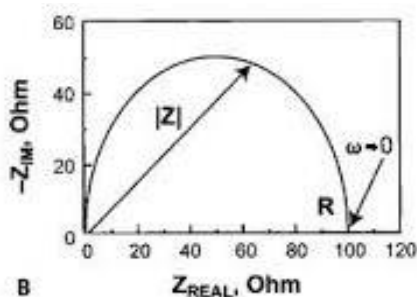
2. Metode Elektrokimia

Adapun tehnik pada metode elektrokimia yang digunakan yaitu *Electrochemical Impendance Spectroscopy* (EIS) dan plot Tafel. Masing-masing metoda mempunyai keuntungan dan kerugian.

a. *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

EIS digunakan untuk menggambarkan fitur listrik dari antarmuka elektrokimia yang menggunakan potensial AC. Teknik ini bisa dikerjakan dengan cepat, dalam beberapa menit dibandingkan metode *wheel test* yang memerlukan waktu beberapa hari. Keuntungan metode ini bisa menentukan laju korosi secara langsung sedangkan dengan metode kehilangan berat menghasilkan laju korosi terintegrasi, maksudnya sampel logam yang digunakan pada pengukuran blanko berbeda dengan inhibitor dan laju korosinya dihitung masing-masing. Pengukuran elektrokimia didasarkan pada sinyal listrik, sehingga bisa ditransmisi, ditampilkan, dianalisis, diotomatisasi dan dibuat alat ukurnya.

Pada prinsipnya EIS dapat menentukan sejumlah parameter yang berkaitan dengan kinetika elektrokimia, termasuk di dalamnya tahanan polarisasi (R_p), tahanan larutan (R_s), *charge transfer resistance* (R_{ct}), dan kapasitansi lapisan rangkap (*double layer*), (C_{dl}). Data potensial dari pengukuran EIS biasanya disajikan dalam bentuk plot Nyquist seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva Nyquist $ZnPO_4$ (Ajiriyanto, 2018).

Berdasarkan plot Nyquist diperoleh nilai R_p , R_s , serta R_{ct} . Nilai R_s merupakan titik awal dari setengah lingkaran dan R_p merupakan titik akhir dari setengah lingkaran yang terbentuk dari plot Nyquist. Sedangkan nilai R_{ct} merupakan selisih dari nilai R_p dan R_s atau besarnya diameter setengah lingkaran yang dihasilkan dari plot Nyquist. Tahanan listrik dalam EIS dinyatakan dengan impedansi (Z). Impedansi

adalah ukuran kemampuan suatu rangkaian dalam menahan arus listrik. Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda, dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi. Impedansi dari sel elektrokimia, Z , ditentukan berdasarkan analogi dari hukum Ohm seperti di bawah ini. Dengan ω adalah frekuensi radial atau kecepatan sudut yang diterapkan (rad sec^{-1}).

Impedansi total dapat dicari menggunakan Persamaan (2.15) berikut;

$$Z = R\Omega + \frac{R_{corr}}{1+(\omega R_{corr} C)^2} + \frac{j[-\omega R_{corr}^2 C]}{1+(\omega R_{corr} C)^2} \quad (2.15)$$

dengan Z adalah impedansi total, ω adalah 2π untuk frekuensi tegangan AC, j

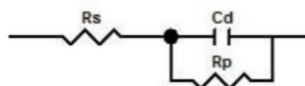
adalah bilangan imajiner untuk persamaan $\frac{R_{corr}}{1+(\omega R_{corr} C)^2}$ disebut dengan

impedansi real yang dilambangkan dengan $Z_r(\omega)$, dan untuk persamaan

$\frac{j[-\omega R_{corr}^2 C]}{1+(\omega R_{corr} C)^2}$ disebut dengan impedansi imajiner dan dilambangkan dengan

$$Z(\omega) = Z_r(\omega) + Z_i(\omega) \quad (2.16)$$

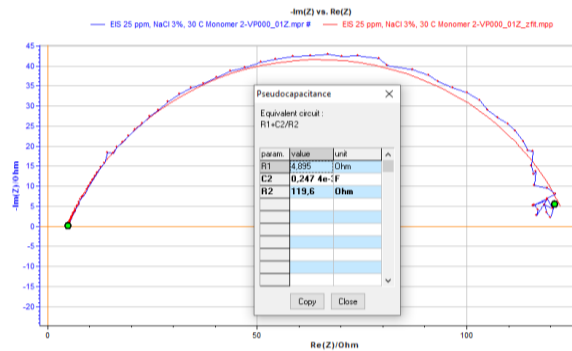
Tahanan polarisasi adalah resistensi terhadap reaksi korosi pada kondisi sirkuit terbuka, dan itu tergantung pada muatan resistensi transfer, resistensi ohmik dari elektrolit dan film permukaan, dan difusi resistensi dalam kasus proses korosi yang dikendalikan secara umum (Bian *et al*, 2015).



Gambar 5. Sirkuit ekivalen untuk sistem korosi di bawah kendali transfer muatan.

Aplikasi EIS untuk studi korosi khususnya korosi CO_2 dan inhibisinya telah banyak dipublikasikan, antara lain; Shieh *et al.*, (2001); Zunita *et al.*, (2012); Desimone *et al.*, (2011); dan Ilim *et al.*, (2017). Pada penelitian ini plot Nyquist dihasilkan menggunakan aplikasi Ec- Lab dan Origin Pro 8.5. informasi yang didapat dari Ec-Lab berupa nilai R_1 dan R_2 , dengan R_1 adalah R_s dan R_2 adalah

$R_s + R_{ct}$, sehingga dapat ditentukan nilai R_{ct} masing- masing senyawa. Bentuk aplikasinya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 . Kurva Nyquist monomer 2-VP dan hasil pengolahan data dari aplikasi EC-Lab ditunjukkan dengan kurva merah.

Nilai R_{ct} didapat dari selisih $(R_2 - R_1)$, kemudian diplotkan dengan menggunakan aplikasi Origin Pro 8.5 untuk membuat kurva Nyquist data hasil ekstrapolarisasi. Selanjutnya untuk menghitung persen proteksi ($\%P$) digunakan Persamaan (2.17):

$$\%P = \frac{(R_{ct_i} - R_{ct_o})}{R_{ct_i}} \times 100\% \quad (2.17)$$

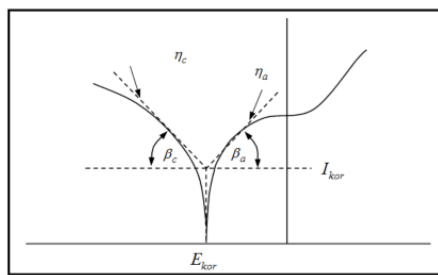
Dengan $\%P$ adalah persen proteksi, R_{ct_i} adalah *charge transfer resistance* inhibitor, dan R_{ct_o} adalah *charge transfer resistance* blanko.

b. Plot Tafel

Laju korosi yang terjadi pada logam dalam lingkungan elektrolit baik tanpa atau dengan adanya inhibitor korosi dapat dilakukan dengan menggunakan metode Tafel. Pengukuran dengan metode Tafel untuk kinerja inhibisi dilakukan dalam sel elektrokimia dengan sistem tiga elektroda, yaitu sampel baja karbon sebagai elektroda kerja, elektroda Pt sebagai elektroda bantu, dan elektroda kalomel sebagai elektroda pembanding.

Prinsip polarisasi Tafel adalah interaksi antarmuka larutan uji dengan elektroda yang menimbulkan polarisasi logam dan arus tertentu. Berdasarkan ekstrapolasi Tafel ini dapat diketahui reaksi yang terjadi antara anodik dan katodik. Jika potensial anodik dapat bergeser kearah negatif maka polarisasi atau reaksi anodik

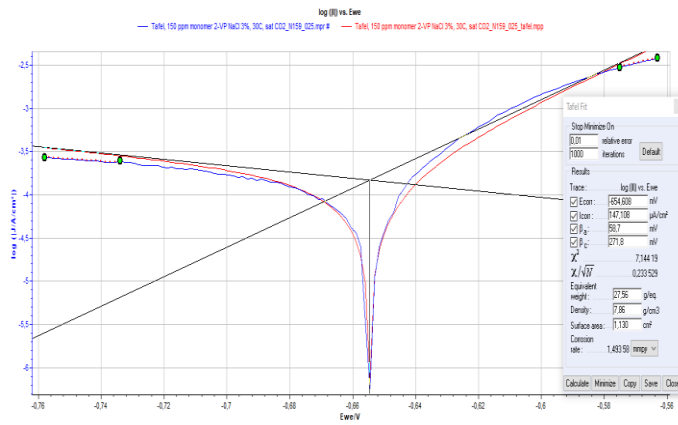
yang berperan ditandai dengan terjadinya oksidasi pada baja karbon. Namun jika potensial korosi bergeser ke arah positif maka reaksi katodik berperan ditandai dengan terjadinya reduksi ion-ion H^+ yang banyak (Fahrurrozie, 2010). Metode pengukuran plot Tafel menggunakan rentang potensial DC lebih besar, $E_{corr} \pm 250$ mV, dan memberikan informasi korosi lebih banyak dibandingkan polarisasi linear. Plot Tafel mempunyai cabang anodik dan katodik yang berhubungan dengan reaksi setengah sel anodik dan katodik untuk korosi logam seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Plot Tafel untuk laju korosi (Andreas, 2015).

Arus korosi bisa langsung dibaca dari plot Tafel tanpa mengetahui nilai slop Tafel atau menggunakan persamaan Stern-Geary. Plot Tafel bisa digunakan untuk memperkirakan slop Tafel, laju korosi, dan menentukan tipe proses kimia yang mengontrol laju korosi. Suatu elektroda uji dipolarisasi dengan waktu terbatas karena masing-masing polarisasi Plot Tafel menyebabkan permukaan kasar. Plot Tafel juga bisa salah jika timbul tahanan larutan yang tidak seimbang dan ukuran elektroda uji yang tidak simetri (Kandias, 2009).

Kurva polarisasi metode Tafel pada penelitian ini dapat diperoleh dengan menggunakan aplikasi Ec-Lab, didapatkan besaran- besaran arus listrik yang berkaitan dengan laju korosi, parameter yang digunakan untuk luas area $1,13 \text{ cm}^{-2}$, karakteristik 55,85, ekuivalen 27,56 g/mol, dan densitas 7,86 g/cm. Kemudian data hasil ekstrapolarisasi Ec-Lab diplotkan dengan menggunakan origin Pro 8.5 sehingga diperoleh kurva polarisasi. Data Ec-Lab dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva polarisasi monomer 2- VP dan hasil pengolahan data dari aplikasi EC-Lab ditunjukkan dengan kurva merah.

Data tafel yang diperoleh dari Ec-Lab selanjutnya dapat dihitung persen proteksinya dengan Persamaan (2.18):

$$\%P = \frac{(I_{corr_0} - I_{corr_i})}{I_{corr_0}} \times 100\% \quad (2.18)$$

Dengan %P adalah persen proteksi, I_{corr_i} adalah arus korosi inhibitor, dan I_{corr_0} adalah arus korosi blanko.

H. Parameter Termodinamika dan Mekanisme Adsorpsi

Parameter termodinamika dapat ditentukan dari data laju korosi yang didapatkan. yang menunjukkan keadaan adsorpsi molekul (kemisorpsi atau fisorpsi). Nilai-nilai tetapan interaksi molekul (f) dan tetapan kesetimbangan adsorpsi (K_{ads}) bisa dihitung dengan *Temkin Adsorption Isotherm Plot* (TAIP) menggunakan persamaan. Suatu nilai f yang tinggi menunjukkan gaya tolak yang kuat antara molekul- molekul yang teradsorpsi, dan K_{ads} memberikan suatu indikasi afinitas adsorbat untuk permukaan. Dapat dilihat pada Persamaan (2.19 dan 2.20) berikut:

$$K_{ads}C = e^{f\theta} \quad (2.19)$$

$$\ln C = f\theta - \ln K_{ads} \quad (2.20)$$

Nilai-nilai f mempunyai rentang dari negatif ke positif, tergantung pada isotherm yang digunakan. Nilai negatif menunjukkan suatu tarik-menarik antara molekul-molekul yang teradsorpsi, nilai positif menunjukkan bahwa ada gaya tolak antara molekul-molekul dan nilainya bertambah dengan semakin besarnya nilai f , sedangkan nilai nol berarti tidak ada interaksi. Tidak hanya nilai f tetapi juga nilai K_{ads} bisa ditentukan dengan TAIP yang didapatkan dari Persamaan (2. 21):

$$\left(\frac{d \ln C}{dT}\right)_{\theta} = -\left(\frac{d \ln K_{ads}}{dT}\right)_{\theta} + \left(\frac{d f(\theta)}{dT}\right)_{\theta} \quad (2. 21)$$

dengan C adalah konsentrasi inhibitor dan θ adalah fraksi penutupan permukaan. Pada θ tetap, penyelesaian suhu akhir dari persamaan di atas adalah nol dan persamaan sebelumnya dapat direduksi menjadi Persamaan(2.21):

$$\left(\frac{d \ln C}{dT}\right)_{\theta} = -\left(\frac{d \ln K_{ads}}{dT}\right)_{\theta} \quad (2.22)$$

Persamaan (2. 22) di bawah dapat digunakan untuk mendapatkan ΔH_{ads} dengan menggunakan plot van't Hoff antara konsentrasi inhibitor yang dibutuhkan untuk memberikan θ (50%) tetap versus suatu suhu (T) dengan rentang 303 K - 343 K. ΔH_{ads} didapatkan dari gradien plot van't Hoff dikalikan dengan nilai R .

$$\ln C_{\theta=0,5} = \frac{\Delta H_{ads}}{RT} + tetapan \quad (2.23)$$

Secara umum, nilai entalpi bisa menentukan jenis proses adsorpsi (fisorpsi atau kemisorpsi). Nilai entalpi untuk kemisorpsi lebih besar dari fisorpsi. Biasanya kemisorpsi mempunyai nilai ΔH_{ads} positif yang menunjukkan suatu proses adsorpsi endotermik. Fisorpsi biasanya mempunyai nilai ΔH_{ads} negatif yang menunjukkan suatu proses eksotermik. Telah diketahui bahwa semakin negatif nilai ΔH_{ads} semakin kuat adsorpsi fisiknya (Abdallah *et al.*, 2014); (Saliyan & Adhikari, 2008). Nilai ΔH_{ads} dan K_{ads} bisa digunakan untuk menentukan sifat termodinamika penting lainnya, seperti perubahan energi bebas Gibbs adsorpsi (ΔG_{ads}) dan perubahan entropi adsorpsi (ΔS_{ads}) yang ditunjukkan dalam Persamaan(2.24 dan 2.25):

$$\Delta G_{\text{ads}} = -RT \ln \Delta K_{\text{ads}} \quad (2.24)$$

$$\Delta S_{\text{ads}} = \frac{\Delta H_{\text{ads}} - \Delta G_{\text{ads}}}{T} \quad (2.25)$$

Nilai ΔG_{ads} di atas -40 kJ mol^{-1} menunjukkan reaksi terjadi secara kemisorpsi, di bawah -20 kJ mol^{-1} reaksi terjadi secara fisorpsi, dan diantara -20 sampai -40 kJ mol^{-1} reaksi terjadi keduanya (Al- Moubaraki, 2020). Interaksi antara inhibitor korosi dan baja lunak dapat terjadi secara adsorpsi baik kemisorpsi atau fisorpsi. Fisorpsi terjadi jika ada suatu gaya elektrostatis antara gugus kepala polar dari inhibitor dengan permukaan baja lunak untuk mempertahankan posisinya. Molekul-molekul tersebut berada dalam keadaan kesetimbangan dengan permukaan dan bisa dengan mudah dihilangkan jika kondisi berubah. Kemisorpsi terjadi jika ada suatu reaksi kimia antara gugus kepala polar inhibitor dan permukaan baja lunak. Ikatan-ikatan yang terjadi lebih sulit diputuskan jika kondisi berubah. Sebelum interaksi terjadi, inhibitor memindahkan molekul-molekul air dari permukaan baja lunak. Dianggap bahwa inhibisi korosi berhubungan dengan pemblokiran pusat aktif oleh molekul inhibitor yang teradsorpsi pada permukaan. Laju korosi sebelum adsorpsi inhibitor (i_{corr} (blanko)) menunjukkan jumlah total pusat korosi. Laju korosi setelah adsorpsi inhibitor (i_{corr} (inhibitor)) menunjukkan jumlah sisa pusat aktif korosi. Sehingga fraksi penutupan permukaan (*fractional surface coverage*, θ), ditunjukkan dengan persamaan(2.26):

$$\theta = \frac{i_{\text{corr}}(\text{blanko}) - i_{\text{corr}}(\text{inhibitor})}{i_{\text{corr}}(\text{blanko})} \quad (2.26)$$

Selain itu, pada penelitian ini ditentukan Mekanisme Adsorpsi yang terjadi. Adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap yang membuat masuknya bahan dan mengumpul dalam suatu zat penyerap. Dengan kata lain peristiwa penyerapan suatu komponen dari larutan pada permukaan bahan penyerap. Pada Adsorpsi ada yang disebut Adsorben dan Adsorbat. Adsorben adalah zat penyerap, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap (Estiaty, 2013).

Metode adsorpsi pada umumnya berdasarkan interaksi logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi pembentukan kompleks. Adsorpsi ini biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya akan gugus fungsional seperti $-OH$, $-NH$, $-SH$, dan $-COOH$. Aspek penting dalam mekanisme adsorpsi adalah kinetika dan termodinamika adsorpsi.

Kinetika adsorpsi meninjau proses adsorpsi berdasarkan laju adsorpsi, sedangkan termodinamika adsorpsi meninjau tentang kapasitas adsorpsi serta energi adsorpsi yang terlibat dalam prosesnya (Sumberdaya dkk., 2015).

Adapun jenis-jenis adsorpsi (Paterson, 2009) adalah sebagai berikut:

1. Fisisorpsi

Fisisorpsi merupakan salah satu jenis adsorpsi yang didasarkan pada interaksi yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben. Pada adsorpsi secara fisika, adsorbat akan ditarik oleh adsorben dan keduanya akan mengalami interaksi secara fisika seperti adanya gaya tarik menarik akibat interaksi van der Waals. Akibatnya interaksi adsorben dan adsorbat cenderung lemah dan jenis adsorpsi ini cenderung lebih mudah untuk terjadinya desorpsi.

2. Kemisorpsi

Kemisorpsi adalah jenis lain dari adsorpsi yang merupakan adsorpsi dengan interaksi kimia. Pada kemisorpsi, antara molekul adsorben dan adsorbat mengalami peristiwa ikatan kimia. Adanya ikatan kimia antara adsorben dan adsorbat akan membuat interaksi kedua material ini lebih kuat. Akibatnya, untuk melepaskan molekul adsorbat dari material adsorben cenderung lebih susah dan membutuhkan energi yang lebih tinggi daripada fisisorpsi. Maka dari itu jenis kemisorpsi ini banyak diaplikasikan untuk tujuan tertentu karena sifat ikatannya yang cenderung kuat.

Adapun empat jenis persamaan mekanisme adsorpsi yang digunakan pada penelitian ini yaitu; adsorpsi isotherm Langmuir, Temkin, Frumkin, dan Florry-Huggins.

1. Adsorpsi Isoterm Langmuir

Adsorpsi isotherm langmuir menjelaskan hubungan antara cakupan permukaan gas yang diserap dan tekanan gas di atas permukaan adsorbennya pada tekanan konstan. Diasumsikan adsorpsi monolayer dari adsorbat pada jumlah tetap dari situs adsorpsi lokal tertentu. Molekul diasumsikan identik dan setara tanpa interaksi lateral atau hambatan sterik di antara mereka. Semua itu pada adsorben juga diasumsikan memiliki afinitas yang sama untuk adsorbat, dan memiliki energi aktivasi serapandan entalpi yang konstan. Dari semua aspek tersebut diaplikasikan kedalam persamaan Langmuir sesuai literatur yang pernah dilakukan oleh Ituen *et al* (2017), Adiba (2019), Muthumanickam *et al* (2015), Olatunde *et al* (2015), Budi dkk (2020), Resen *et al* (2021) dapat dilihat pada Persamaan (2. 27):

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C \quad (2.27)$$

dengan C adalah konsentrasi (M), θ adalah *fractional surface coverage* / fraksi penutupan permukaan, dan K_{ads} adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi.

2. Adsorpsi Isoterm Temkin

Isoterm adsorpsi temkin telah banyak digunakan dalam deskripsi mekanisme kerja inhibitor korosi yang dikenal sebagai model Temkin. Menjelaskan tentang sifat interaksi yang terjadi di lapisan teradsorpsi. Adsorpsi Isoterm Temkin dinyatakan dalam Persamaan (2.28) berikut:

$$e^{-2a\theta} = K C \quad (2.28)$$

dengan a adalah parameter interaksi molekuler. Parameter interaksi molekuler, tergantung pada tandanya, digunakan untuk memprediksi apakah tarik-menarik atau tolakan terjadi di lapisan teradsorpsi. Bentuk persamaan yang dilinearisasi dapat digunakan untuk mendapatkan plot linier θ terhadap $\ln C$. Sesuai dengan

literatur yang pernah dilakukan oleh Resen *et al* (2021), dan Olatunde *et al* (2020), dapat dilihat pada Persamaan (2.28) berikut:

$$\ln C = f\theta - \ln K \quad (2.28)$$

Dengan f menunjukkan interaksi antar molekul dan K merupakan kesetimbangan. Dari nilai K yang didapat selanjutnya diubah menjadi K_{ads} sesuai dengan literatur yang pernah dilakukan oleh Zinad *et al* (2020) dan Muthumanickam *et al* (2015). Dapat dilihat pada Persamaan (2.30) berikut:

$$\ln K_{\text{ads}} = \ln (K \times BM \times 10^3 \times 55,5) \quad (2.30)$$

Nilai K_{ads} menjelaskan seberapa kuat molekul-molekul inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam.

3. Adsorpsi Isoterm Frumkin

Pendekatan Frumkin diterapkan pada adsorpsi inhibitor korosi permukaan logam yang telah dijelaskan secara rinci oleh Anwar dkk (2020) dan Tsygankova *et al* (2014). Diungkapkan dengan Persamaan (2.31) berikut:

$$\ln \left(\frac{\theta}{c_{\text{inh}}(1-\theta)} \right) = \ln K_{\text{ads}} + 2\alpha\theta \quad (2.31)$$

4. Adsorpsi Isoterm Flory-Huggins

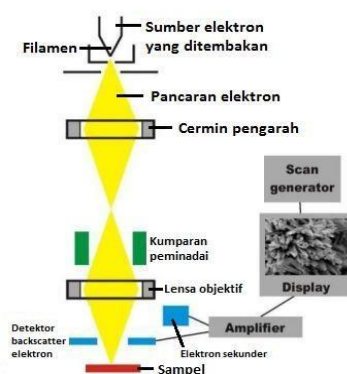
Adsorpsi isotherm Florry- Huggins diyakini sebagai model substitusi karena parameter konstan (x) dalam persamaan menggambarkan substitusi molekul penghambat untuk molekul air. Sesuai dengan literatur yang pernah dilakukan oleh Gheorge *et al* (2015) dan Olatunde *et al* (2020) ditunjukkan pada Persamaan (2.32 dan 2.33) berikut:

$$\frac{\theta}{x(1-\theta)^x} = K_{\text{ads}} C_{\text{inh}} \quad (2.32)$$

$$\ln \left(\frac{\theta}{C} \right) = \ln K + x \ln (1 - \theta) \quad (2.33)$$

I. Karakterisasi Produk Korosi

Karakterisasi produk korosi dapat dilakukan dengan menganalisis permukaannya menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang merupakan suatu instrumen untuk mengamati dan menganalisis struktur, topografi, dan morfologi dari bahan padat seperti logam, keramik, polimer, dan komposit. SEM menggunakan elektron untuk mendapatkan informasi gambar yang diinginkan dengan resolusi dan ketajaman gambar yang tinggi dengan resolusi sekitar 0,5 nm (Goldstein *et al.*, 2017). Adapun skema alat SEM dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema alat SEM (Handayani dan Sitompul., 1996).

Pada prinsipnya, SEM terdiri dari beberapa komponen utama antara lain sumber elektron yang berupa filamen dari bahan kawat tungsten. Filamen tersebut dapat menyediakan berkas elektron yang secara teoritis memiliki energi tunggal (monokromatik). Komponen kedua yakni dua lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil dan dua pasang kumparan pemindai berfungsi mengarahkan elektron ketika memindai permukaan sampel. Komponen ketiga yaitu *image detector* yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM yaitu detektor *Secondary Electron* (SE) dan *Backscattered Electrons* (BSE) (Sujatno *et al.*, 2015).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan bulan Juli 2021 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pertama dilakukan sintesis senyawa monomer 2-vinilpiridin, kemudian analisis struktur hasil sintesis oligomer 2-vinilpiridin ditentukan *Mass Spectrometry* (MS) dilakukan di PRIMKOPPOL PUSLABFOR POLRI, Cipambuan Sentul Kabupaten Bogor- Jawa Barat. Kemudian uji *wheel test*, serta elektrokimia dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik Material Program Studi Kimia Institut Teknologi Bandung (ITB). Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) di lakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

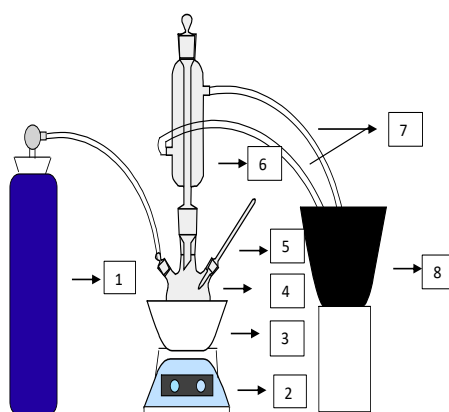
Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: Alat-alat gelas laboratorium, *micrometer screw*, neraca analitik, botol duran, alat destilasi, *rotary evaporator*, SEM/EDS, *wheel oven*, alat elektrokimia, elektroda kerja (baja lunak), elektroda standar (Ag/AgCl), dan elektroda pembantu.

Bahan-bahan yang digunakan adalah fraksi-fraksi oligomer 2-vinilpiridin, metanol, Sb_2O_3 , $SnCl_2$, HCl pekat, NaCl, $NaHCO_3$, akuades, etanol, gas CO_2 , kertas amplas grade 360, 400, 600, dan 800, serta baja lunak.

C. Prosedur Penelitian

1. Sintesis Oligomer 2-Vinilpiridin

Pada sintesis ini digunakan variasi konsentrasi H_2O_2 yaitu 0,25 mol; 0,33 mol; dan 0,5 mol. Masing-masing konsentrasi menggunakan monomer yang sama yaitu 2-vinilpiridin (30g; 0,48 mol) atau sebanyak 30,76 ml dan pelarut yang sama yaitu metanol (75 ml) serta akuades (75 ml). Namun yang berbeda jumlah dari H_2O_2 yang digunakan dari setiap konsentrasi. Pada konsentrasi H_2O_2 0,25 mol digunakan sebanyak 17 ml, konsentrasi H_2O_2 0,33 mol digunakan sebanyak 22,44 ml, dan konsentrasi H_2O_2 0,5 mol digunakan sebanyak 34 ml. Kemudian dicampur dengan masing-masing konsentrasi yang dibuat, lalu direfluks selama 2-10 jam. Pelarut dihilangkan dengan menggunakan *rotary evaporator*. Sintesis ini dilakukan berdasarkan metoda (Ilim, 2017). Adapun susunan alat sintesis dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Susunan alat sintesis O(2-VP) dengan susunan (1) tabung gas nitrogen, (2) *hot plate*, (3) penangas, (4) labu leher tiga, (5) termometer, (6) kondensor, (7) *water-in* dan *water-out*, dan (8) aerator.

2. Karakterisasi Hasil Sintesis

Setelah dilakukan proses sintesis, maka akan dilanjutkan dengan menghilangkan pelarut yang terdapat dalam hasil sintesis dengan menggunakan *rotary evaporator*. Setelah didapatkan senyawa Oligomer 2-vinilpiridin tanpa adanya pelarut maka akan di karakterisasi menggunakan *Spectrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Mass Spectrometry* (MS).

3. Persiapan Larutan

a. Larutan medium korosif

Medium korosif yang digunakan adalah larutan NaCl 3% disiapkan dengan melarutkan NaCl dan NaHCO₃ dalam akuades hingga konsentrasi masing-masing 3 dan 0,01% (*b/v*) atau 30 dan 0,1g/L. Larutan elektrolit tersebut dijenuhkan dengan gas CO₂ pada tekanan atmosfer dengan kecepatan 150-200 mL/min.

b. Larutan *Clarke's Solution*

Larutan *Clarke's Solution* dibuat dengan menyiapkan Sb₂O₃ 2% dan SnCl₂ 5% yang dilarutkan dalam HCl pekat.

c. Larutan Induk Inhibitor 10000 ppm

Larutan inhibitor dibuat dengan melarutkan senyawa inhibitor dalam pelarut metanol. Larutan inhibitor induk disiapkan dengan konsentrasi 10000 mg/L perhitungan dapat dilihat pada Lampiran I.

4. Uji Aktivitas Inhibitor Korosi

Aktivitas oligomer 2-vinilpiridin sebagai inhibitor korosi ditentukan dengan dua metode yaitu metode kehilangan berat dan elektrokimia.

1. Metoda *Wheel Test*

Metode kehilangan berat meliputi beberapa tahap, yaitu; persiapan sampel, persiapan botol, dan pemindahan kupon.

a. Persiapan Sampel

Kupon diukur dan dipotong dengan ukuran (2 x 1 x 0,1) cm, lalu disiapkan amplas dengan grade 360, 400, 600, dan 800 untuk mengamplas lembaran baja lunak. Setelah itu kupon dibersihkan menggunakan methanol. Dikeringkan dan diukur luas menggunakan mikrometer serta dihitung massanya menggunakan neraca analitik dengan tepat.

b. Persiapan Botol

Disiapkan beberapa botol duran 250 ml kemudian diisi dengan 175 ml larutan uji, yang terdiri dari NaCl 3% sebanyak 140 ml dan kerosin sebanyak 35 ml. Kupon baja lunak yang telah diukur luas dan ditimbang beratnya, dimasukkan ke dalam masing-masing botol duran. Larutan uji dialiri gas CO₂ selama ±45 menit sampai jenuh. Aliran gas CO₂ dihentikan hati-hati dengan memastikan tidak ada kontaminan oksigen, botol duran langsung ditutup dan ditempatkan di dalam *wheel oven* pada suhu 50°C selama 24 jam.

c. Pemindahan Kupon

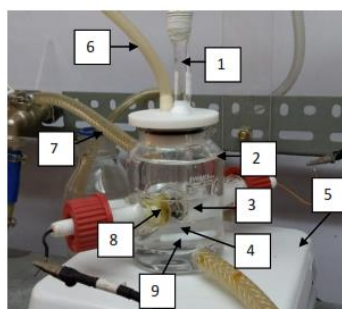
Botol-botol dipindahkan dari oven dengan dibuka tutupnya. Kupon dipindahkan dan di tempatkan dalam *Clarke's solution* untuk menghilangkan produk korosi dari permukaan. Kupon direndam dalam air, dibilas dengan etanol dan kemudian dikeringkan dan ditimbang dengan akurat. Data yang sudah diperoleh selanjutnya dapat dihitung kehilangan berat pada kupon dan laju korosi menggunakan Persamaan (2.12 dan 2.13).

2. Metoda Elektrokimia

a. Persiapan elektroda

Metoda elektrokimia membutuhkan 3 elektroda yaitu: elektroda uji, elektroda pembanding, dan elektroda bantu. Elektroda uji yang digunakan untuk semua

pengukuran adalah baja lunak berbentuk silinder dengan luas 1,13 cm, elektroda pembanding yang digunakan adalah elektroda Ag/AgCl, sedangkan elektroda bantu yang digunakan adalah potongan Pt. Semua alat-alat gelas, *chamber glass*, termometer, *magnetic stirrer*, dan semua alat yang digunakan pada metoda elektrokimia dibersihkan agar tidak adanya kontaminan. Satu set alat yang digunakan pada metoda elektrokimia dan 3 buah elektroda dirangkaian seperti pada Gambar 11 di bawah ini



Gambar 11. Susunan Alat Elektrokimia Volta Lab dengan susunan (1) termometer, (2) *chamber glass*, (3) elektroda kerja (baja), (4) elektroda pembanding (Ag/AgCl), (5) *magnetic stirrer*, (6) elektroda bantu (Pt), (7) *Waterbath*, (8) *Sparging CO₂*, dan (9) *hot plate*.

b. Pengukuran Elektrokimia

Pengukuran ini dilakukan dengan mengisi 100 ml larutan NaCl 3% dan dialiri gas CO₂ sampai jenuh (kira-kira 45 menit). *Auxiliary electrode Ag/AgCl electrode* dan *water-bath* ditempatkan dalam sel. Suhu larutan dalam sel diatur menggunakan *Activon Model 720 digital hot plate* yang dikontrol oleh *water-bath* yang dicelupkan dalam larutan. Elektroda kerja yang sudah diampas dipasang dan dihubungkan dengan alat Elektrokimia Volta Lab. Sel elektrokimia dihubungkan dengan potensiostat untuk pengukuran EIS dan Tafel. Susunan sel untuk teknik EIS dilakukan menggunakan Volta Lab. Data impedansi didapatkan menggunakan voltase AC (5 mV) dengan rentang frekuensi 10⁵-10⁻² Hz. Sedangkan untuk pengukuran Plot Tafel juga diselesaikan dengan cara yang sama dengan EIS. Sel elektrokimia dirancang dengan cara yang sama dan dihubungkan dengan menggunakan Volta Lab. Elektroda uji dipolarisasi menggunakan potensial DC pada $E_{\text{corr}} \pm 200$ mV.

5. Penentuan Parameter Termodinamika

Data yang diperoleh dari masing- masing metoda yaitu *wheel test*, EIS, dan Tafel dapat dihitung persen proteksinya untuk mengetahui kemampuan inhibisi setiap senyawa inhibitor yang digunakan dalam menghambat laju korosi. Persen proteksi pada *wheel test* menggunakan Persamaan (2.14), pada metoda EIS menggunakan Persamaan (2.17), dan metoda Tafel menggunakan Persamaan (2.18).

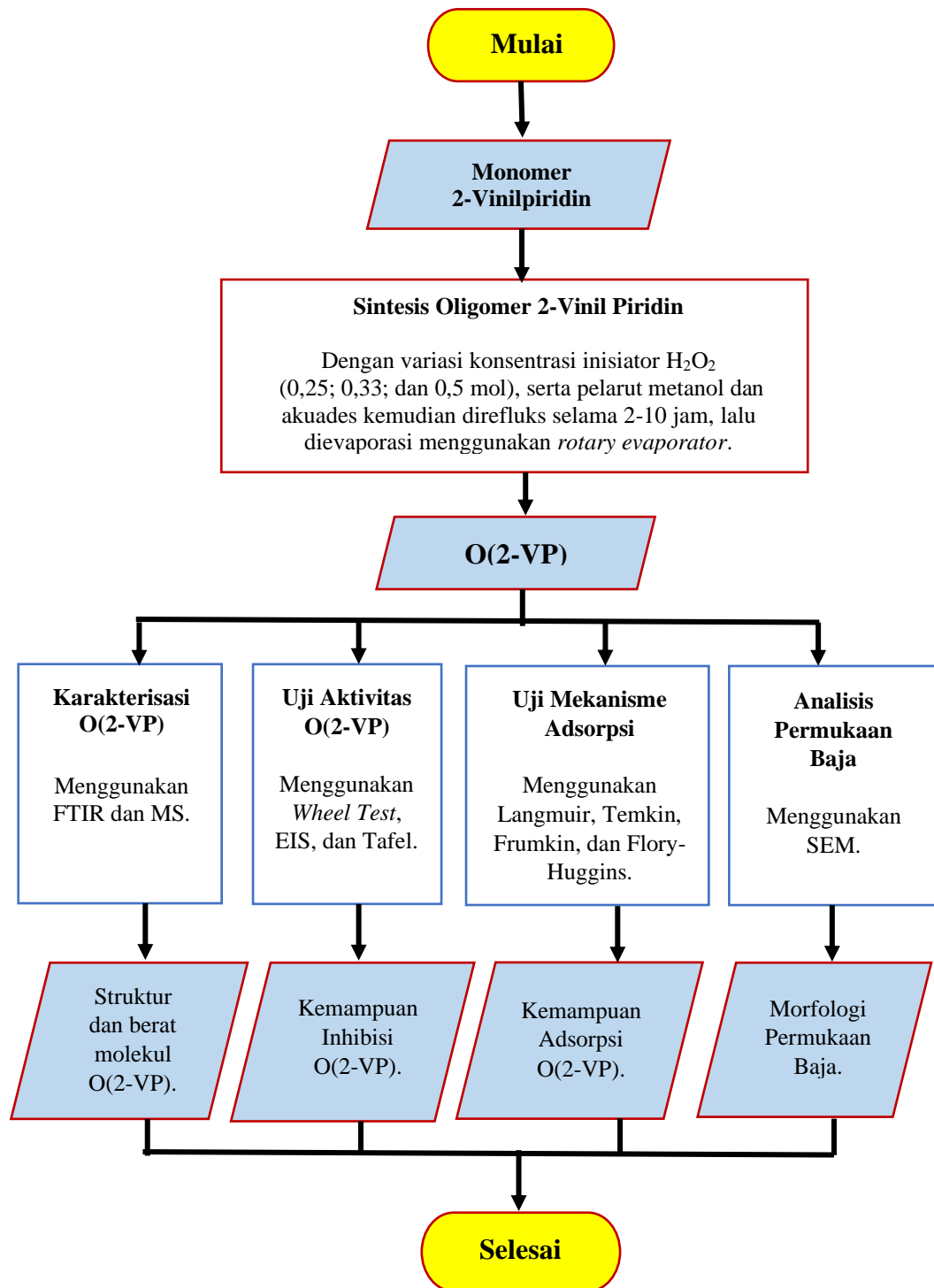
Selanjutnya data persen proteksi (%*P*) dengan suhu dan konsentrasi inisiator bervariasi yang didapatkan menggunakan metoda EIS akan dihubungkan dengan empat model mekanisme adsorpsi yaitu Langmuir, Temkin, Frumkin, dan Florry-Huggins untuk mendapatkan persamaan adsorpsi. Adsorpsi isothermal Langmuir menggunakan Persamaan (2.27), Temkin menggunakan Persamaan (2.28), Frumkin menggunakan Persamaan (2.31), dan Florry-Huggins menggunakan Persamaan (2.33). Masing- masing model mekanisme adsorpsi menghasilkan plot dengan persamaan regresi linier yang berbeda. Dari regresi linier tersebut dapat diketahui nilai $\ln K_{ads}$ dilihat dari nilai intersepnya. Setelah itu, untuk membuat Plot Van't Hoff dengan cara memplotkan nilai $\ln K_{ads}$ dengan nilai $1/T$ (dalam satuan kelvin).

Perhitungan besaran termodinamika dari masing- masing persamaan mekanisme adsorpsi dapat ditentukan menggunakan Plot Van't Hoff yang dihasilkan. Menentukan nilai entalpi (ΔH_{ads}), energi bebas Gibbs (ΔG_{ads}), dan entropi (ΔS_{ads}) dapat dilihat pada Persamaan (2.23 - 2. 25).

6. Analisis Permukaan

Pada penelitian ini analisis permukaan korosi pada baja dilakukan dengan menggunakan SEM untuk melihat produk korosi, baik morfologi, dan komposisi kimia dari permukaan baja lunak yang sebelumnya sudah diperlakukan dalam larutan NaCl 3% yang jenuh CO₂ baik mengandung inhibitor atau tanpa inhibitor.

Adapun Skema kerja pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 12 :



Gambar 12. Skema Kerja Penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Senyawa O(2-VP) berhasil disintesis berupa cairan kental berwarna kuning, dengan rentang berat molekul dari 100- 1000 m/z , unit monomer yang paling banyak adalah dimer ($n= 2$) yang diperkirakan gugus akhirnya adalah OH + C=C, H + CH₃, OH + C=C, dan OCH₃ + C=C.
2. *Screening test* dengan metode *wheel test* menunjukkan bahwa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C dapat berfungsi sebagai inhibitor korosi, dengan persen proteksi tertinggi adalah O(2-VP) C.
3. Pengujian aktivitas dengan menggunakan EIS menunjukkan bahwa penambahan inhibitor O(2-VP) memiliki efektivitas yang berbeda sebagai inhibitor korosi pada suhu 30^oC persen proteksi paling tinggi yaitu O(2-VP) A dengan persen proteksi 76,46%, sedangkan untuk senyawa O(2-VP) B dan O(2-VP) C persen proteksi paling tinggi pada suhu 50^oC dengan persen proteksi 66,57% dan 73,77%.
4. Hubungan berat molekul dengan persen proteksi dipengaruhi oleh suhu, seiring meningkatnya berat molekul dan bertambahnya suhu dihasilkan persen proteksi yang tidak stabil atau belum terlihat peningkatan maupun penurunan yang konstan.
5. Pengujian aktivitas dengan Tafel pada suhu 30^oC inhibisi tertinggi yaitu O(2-VP) A dengan persen proteksi sebesar 39,95% pada suhu 70^oC inhibisi

tertinggi yaitu O(2-VP) B dan O(2-VP) C dengan persen proteksi sebesar 55,76% dan 57,61%.

6. Mekanisme adsorpsi dari 4 model adsorpsi yaitu Langmuir, Temkin, Frumkin, dan Florry-Huggins menunjukkan plot yang terbaik mnggunakan adsorpsi isotherm Langmuir, dengan nilai R^2 berkisar dari 0,9- 1, berarti bahwa sumbu x dan y memberikan kemungkinan menghasilkan kesalahan sangat kecil.
7. Analisis permukaan dengan SEM menunjukkan bahwa O(2-VP) A, O(2-VP) B, dan O(2-VP) C mampu menghambat laju korosi, sedangkan monomer 2-VP bersifat mempromosikan korosi.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan percobaan lebih lanjut mengenai hubungan berat molekul dan persen proteksi, selain itu juga perlu ditambahkan referensi mengenai persamaan adsorpsi isotherm selain Langmuir, Temkin, Frumkin, dan Florry- Huggins untuk dibandingkan kinetika adsorpsi yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, M., Atwa, S. T., & Zaafarany, I. A. 2014. Corrosion Inhibition of Aluminum in NaOH Solutions using some Bidentate Azo Dyes Compounds and Synergistic Action with some Metal Ions. 9, 4747–4760.
- Adiba A. Mahmmmod. 2019. Experimental Studies of Mild Steel Corrosion Inhibition In Hydrochloric Acid Using Inhibitor Type Sulfa Drugs. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 8(4): 1112–1122.
- Adzhani, D.R dan Sulistijono. 2013. Pengaruh Agitasi dan Penambahan Konsentrasi Inhibitor Sarang Semut (*Myromicodia Pendans*) Terhadap Laju Korosi Baja Api 5L Grade B Di Media Larutan 1M HCl. *Jurnal Teknik Pomits.* 2 (1), 1-7.
- Ahamad, I., Prasad, R., and Quraishi, M. A. 2010. Experimental and quantum chemical characterization of the adsorption of some Schiff base compounds of phthaloyl thiocarbohydrazide on the mild steel in acid solutions. *Materials Chemistry and Physics.* 1111-1165.
- Ajiriyanto, K.M., Kriswarini, R., Yanlinastuti, Lestari, D.E. 2018. Analisis Korosi Pipa Pendingin Sekunder Rsg-Gas Dengan Teknik Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Journal Urania.* 24(2).
- Al-Moubaraki, A. H and Awaji, H. 2020. 1-X-4-[4'-(–OCH₃)-Styryl] Pyridinium Iodides, Potent Inhibitors For Stainless Steel Corrosion In 2 M HCl Acid Solutions. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9(2): 460–501.
- Andreas, S.I dan Radhian Krisnaputra. 2015. Ketahanan Korosi Baja Ringan Di Lingkungan Air Laut. *Jurnal Material Teknologi Proses .1* (1).
- Asadian, M., M.Sabzi, and S.H. Mousavi Anijdan. 2019. The effect of temperature, CO₂, H₂S gases and the resultant iron carbonate and iron sulfide compounds on the sour corrosion behaviour of ASTM A-106 steel for pipeline transportation. *International Journal of Presurre Vessels and Piping.* 171: 184- 193.
- Bian, C., ZiMing, W., Xia, H., Changfeng, C., and Jian, Z. 2015. Electrochemical Response of Mild Steel in Ferrous Ion Enriched and CO₂ Saturated Solutions. *Corrosion Science.* 96: 42–51.

- Budi, A., Khairunnisa, T., dan Sunarya, Y. 2020. Corrosion Inhibition of A516 Carbon Steel in 0.5 M HCl Solution Using *Arthrospira Platensis* Extract as Green Inhibitor. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9(1): 244–256.
- Chetouani, A., K. Medjahed., K.E. Benabadji, K. E., Hammouti, B., Kertit, S., and Mansri, A. 2003. Poly(4-vinylpyridine isopentyl bromide) as Inhibitor for Corrosion of Pure Iron in Molar Sulphuric Acid. *Progress in Organic Coatings.* 46, 312-316.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi.* Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas. Padang.
- Dastgerdi, A. A., Brenna, A., Ormellese, M., Peddeferi, M., and Bolzoni, F. 2019. Experimental design to study the influence of temperature, pH, and chloride concentration on the pitting and crevice corrosion of UNS S30403 stainless steel. *Corrosion Science.* Vol (159).
- Dalimunthe. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi.* Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara.
- Desimonr, M. P., Grundmeier, G., Gordillo, G., and Simison, S.N. 2011. Amphiphilic amido-amine as an effective corrosion inhibitor for mild steel exposed to CO₂ saturated solution: Polarization, EIS and PM-IRRAS studies. *Electrochimica Acta*, 56(8), 2990-2998.
- Durnie, W. H. 2000. Development of a structure/activity relationship for carbon dioxide corrosion inhibitor. *PhD Dissertation.* School of Applied Chemistry Preth, Curtin University of Tehnology.
- Eduok, U., Ohaeri, E., and Szpunar, J. 2018. Electrochemical and Surface Analyses of X70 Steel Corrosion in Simulated Acid Pickling Medium: Effect of Poly (N-Vinyl Imidazole) Grafted Carboxymethyl Chitosan Additive. *Electrochimica Acta.* 279, 302-312.
- Eliyan, F. F and Alfantazi, A. 2014. Mechanism of Corrosion and Electrochemical Significance of Metallurgy and Environment With Corrosion of Iron and Steel In Bicarbonate and Carbonate. *Corrosion Science.* 85, 380-393.
- Estiaty, L. M. 2013. Keseimbangan dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu Pada Zeolit-H, 2(2), 127–141.
- Fahrurrozie, A. 2010. *Efisiensi Inhibisi Cairan Ionik Turunan Imidazolin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida.* Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Fang, H., Brown, B., and Nestic, S. (2013). Sodium Chloride Concentration Effects on General CO₂ Corrosion Mechanisms. *Corrosion Science.* 69: 297–302.

- Fardhyanti, D.S. 2004. Effectivity Evaluation of Sodium Phosphate As An Corrothion Inhibitor of Steeled Concrete. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol (7).
- Ferreira, K. C. R., Cordeiro, R. F. B., Nunes, J. C., Orofino, H., Magalhães, M., Torres, A. G., & Elia, E. D. 2016. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl Solution by Aqueous Brown Onion Peel Extract. 11,406–418.
- Frihat Mohamed, H. 2015. Effect of Heat Treatment Parameters on the Mechanical and Microstructure Properties of Low-Alloy Steel. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*. 5: 214-227.
- Gandjar. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Yogyakarta: Pustaka pelajar.
- Gheorghe, Alina, G., Elena, D., Mihaela, and Constantin, P. 2015. Comparative Study of Temkin And Floryhuggins Isotherms For Adsorption Of Phosphate Anion On Membranes. *U.P.B. Sci. Bull.* 77(2): 1454 – 2331.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J., and Joy, D. C. 2017. Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis. *Microscopy and Microanalysis*. 9(5).
- Hamidah, I., Solehudin, A., Hamdani, A., Hasanah. L., Khairurrijal, Mamat, r., Maryanti, R., Nandiyanto, A.B.D., and Hammouti, B. 2021. Corrosion of copper alloys in KOH, NaOH, NaCl, and HCl electrolyte solutions and its impact to the mechanical properties. *Alexandria Engineering Journal*. 60 (2): 2235-2243.
- Hidayat, Amri R., Imam Rochani, H., dan Supono. 2013. *National Institute for Research in Inorganic Materials 1-1 Namiki*, Tsukuba, Ibaraki 305. Japan.
- Haznawati, H. 2013. *Fraksinasi*. Universitas Terbuka. Jakarta.
- Hutapea, S., Ellen. L. P., and Andi. W. 2015. Utilization of rubber seed shells and epicarp wastes as activivated biochar. *Chemistry and Material Research*. Vol. 7.
- Ian, D. R.S., Komalasari, Evelyn. 2019. Proteksi Katodik Dengan Menggunakan Korban Pada Struktur Baja Karbon Untuk Mengendalikan Laju Korosi. *Jom FTEKNIK*. 6(1).
- Ilim, Kamisah, D., dan Sudrajat. 2007. Studi Penggunaan Tumbuhan Tembakau, Teh dan Kopi Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Air Laut Buatan Yang Jenuh CO₂. *Journal Sains Matematika dan Ilmu Pengeahuan Alam*. 13, 163-168.
- Ilim, Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeanin, M., Syah, Y. M., Bundjali, B., and Buchari, B. 2016. Synthesis and Characterization of Oligomer 4Vinylpyridine as a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO₂ Saturated Brine Solution, *Indonesian Journal of Chemistry*. 16, 198-207.

- Ilim., Bahri. S., Simanjuntak, W., Syah, Y.M., Bundjali, B., and Buchari, B. 2017. Performance of Oligomer 4-vinylpyridine as a Carbon Dioxide Corrosion Inhibitor of Mild Steel. *Journal of Material and Environmental Science*, 8 (7), 2381-2390.
- Ilim, R. Fitriani, T. Prabowo, S. Bahri, R. Marjunus and W. Simanjuntak. 2021. Molecular weight distribution and corrosion inhibitor activity of 4-vinylpyridine oligomer synthesized using low concentration hydrogen peroxide as the initiator . *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 10(1): 284–301.
- Ituen, E., Akaranta, O., & James, A. O. 2017. Evaluation of Performance of Corrosion Inhibitors Using Adsorption Isotherm Models : An Overview Evaluation of Performance of Corrosion Inhibitors Using Adsorption Isotherm Models : An Overview, (June).
<https://doi.org/10.9734/CSJI/2017/28976>
- Kandias, D. 2009. *Senyawa Kurkuminoid dari Curcuma Domestica Val sebagai Inhibitor Korosi baja Karbon dalam Larutan NaCl 1%*. (Disertasi). Departement Kimia ITB.
- Landolt, D. 2007. *Corrosion and surface chemistry of metals*. EFPL Press: Lausanne.
- Lin, Y., Singh, A., Ebenso, E. E., Wu, Yuanpeng. Zhu, Chunyang., Zhu, Hongjun. 2014. Effect of Poly(Methyl Methacrylate-Co-N-Vinyl-2Pyrrolidone) Polymer on J55 Steel Corrosion in 3.5% NaCl Solution Saturated with CO₂. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 46, 214-222.
- Lipsy, P. 2010. *Thin Layer Chromatography Characterization of the Active Ingredients in Excedrin and Anacin*. USA: Department of Chemistry and Chemical Biology. Stevens Institute of Technology.
- Liu, Q. Y., Mao, L. J., and Zhou, S. W. (2014). Effects of chloride content on CO₂ corrosion of carbon steel in simulated oil and gas well environments. *Corrosion Sci.* 84: 165–171.
- Muthumanickam, S., Jeyaprabha, B., Karthik, R., Elangovan, A., and Prakash, P. 2015. Adsorption And Corrosion Inhibiting Behavior of Passiflora Foetida Leaf Extract On Mild Steel Corrosion. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 4(4): 365–381.
- Nesic, S., and Lee, K. L. J. 2010. A mechanistic model for carbon dioxide corrosion of mild steel in the presence of protective iron carbonate films-part 3: film growth model. *Corrosion*. 59 (5), 443-456.
- Olatunde, A.A., Oludare, J.O., Odekanle, E.L. 2020. Hermodynamics And Adsorption Study Of The Corrosion Inhibition Of Mild Steel By *Euphorbia Heterophylla L.* Extract in 1.5 M HCl. *Result in Material*. Vol. 5.

- Papvinasam, S. 2014. Corrosion Control in the Oil and Gas Industry. *Elsevier*. USA.
- Patterson, H.B.W. 2009. *Adsorption*. AOCS Press. Hal. 53-67.
- Permanasari, Anna. 2003. *Spektrometri Massa (Mass Spectrometry, MS)*. ITB. Bandung.
- Putra, R.A. 2011. Pengaruh waktu perendaman dengan penambahan ekstrak ubi ungu fucose sebagai inhibitor organik pada baja karbon rendah di lingkungan HCl 1M. (*Skripsi*). Universitas Indonesia. Depok.
- Prabowo, T. (2020). *Pengaruh Kerosin Terhadap Unjuk Kerja Oligomer 4Vinilpiridin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak Dalam Larutan NaCl 3% Jenuh Dengan Karbon Dioksida* (*Skripsi*). Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Rahim, A. E. 2008. Inhibitive Action of Mangrove Tannins and Phosphoric Acid on Pre-rusted Steel via Electrochemical Methode. *Corrosion Science*. Vol.50.
- Resen, A.M., Hanoon, M.M., Alani, W.K., Kadhim, A., Mohammed, A.A., Gaaz, T.S., Kadhum, A.A.H., Al-Amiery, A.A., and Takriff., M.S. 2021. Exploration Of 8-Piperazine-1-Ylmethylumbelliferone For Application As A Corrosion Inhibitor For Mild Steel In Hydrochloric Acid Solution. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 10(1): 368–387.
- Riyanto, Sugeng. 2005. *Spectroscopy 1st edition*. UGM Press. Yogyakarta.
- Roberge, P. R. 2008. *Corrosion engineering: principles and practice*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Saeed N. Ghali, Hoda S. El-Faramawy, Mamdouh M. Eissa. 2015. Influence of Boron Additions on Mechanical Properties of Carbon Steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 11: 995-999.
- Saliyan, V. R., & Adhikari, A. V. 2008. propanohydrazide as an effective inhibitor of mild steel corrosion in HCl solution, 50, 55–61.
- Sideridou, I.D, Achilias, D.S, Karava, O. 2006. Reactivity of Benzoyl Peroxide/Amine System as an Initiator for the Free Radical Polymerization of Dental and Orthopaedic Dimethacrylate Monomers Effect of the Amine and Monomer Chemical Structure. *Macromolecules*, 39(6), 2072–2080.
- Singhbabu, Y.N., Sivakumar, B., Singh, J.K., Bapari, H., Pramanick, A.K., and Sahu, R.K. 2015. Efficient Anti-Corrosive Coating of Cold-Rolled Steel in a Seawater Environment Using an Oil-Based Graphene Oxide Ink. *The Royal Society of Chemistry*. 7, 8035-8047.

- Shayegani, M., Afshar, A., Ghorbani, M., dan Rahmaniyan, M. 2008. Mild steel carbon dioxide corrosion modelling in aqueous solutions. *Corrosion Engineering, Science and Technology*, 43(4), 290-296.
- Sheieh, J. J., Chung, T. S., Wang, R., Srinivasan, M. P., and Paul, D. R. 2001. Gas separation performance of poly(4-vinylpyridine)/polyetherimide composite hollow fibers. *Journal of Membrane Science*. 182(1). 111-123.
- Silverstein, R. M. Webster, F. X. Kiemle, D. J. 2005. Spectrometric Identification of Organic Compounds 7 edition. USA: JohnWilley & Sons.
- Song, R. G., Dietzel, W., Zhang, B. J., Liu, W. J., Tseng, M. K., and Atrens, A. 2004. Strees corrosion cracking and hydrogen embrittlement of on Al-Zn-Mg-Cu alloy. *Acta Materialia*. 52, 4727-4743.
- Stevens, M. P. 2001. *Kimia Polimer. Diterjemahkan oleh Iis Sopyan*. Pradya Paramita. Jakarta, 33-35.
- Subedi, B.N., Amgain, K., Joshi, S., and Bhattarai, J. 2019. Green Approach To Corrosion Inhibition Effect of Vitex Negundo Leaf Extract On Aluminum And Copper Metals In Biodiesel and Its Blend. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 8(3): 744–759.
- Sujatno, A., Salam, R., Dimiyati, A., dan Bandriyana. 2015. Studi scanning electron microscopy (SEM) untuk karakterisasi proses oxidase paduan zirconium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 44-50.
- Sumberdaya, J., Larasati, A. I., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2015). The Effectiveness of Heavy Metals Adsorptions on Leachate by Activated Carbon, Zeolite, and Silica Gel in TPA Tlekung , Batu, 2, 44–48.
- Supratman, U. 2010. *Elusidasi Struktur Senyawa Organik*. Widya Padjadjaran. Bandung.
- Trethewey, K. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Tsygankova, L.E., Esina, M.N., Vigdorovich, I.V., and Shel, N. V. 2014. Study of Steel Corrosion Inhibition In Media Containing H₂S and CO₂ by Impedance Spectroscopy And Polarization Resistancemethods. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 3(1): 8–58.
- Utami, W., Rusjdi, H., dan Sulistiyo, E. 2017. Penyebab Korosi Pada Pipa Gas dan Penanggulangan dengan Metode Catodik Protection (Anoda Karban). *Jurnal Power Plant*. 5(1).
- Valdez, B., Kiyota, S., Stoytcheva, M., Zlatev, R., and Bastidas, J.M. 2014. Cerium-Based Conversion Coatings to Improve the Corrosion Resistance of Alumunium Alloy 6061-T6. *Corrosion Science*. 87, 141-149.

- Wahyuni T. dan Syamsudin. 2014. Pemanfaatan Tanin Ekstrak Daun Jambu Biji Terhadap Laju Korosi Besi Dalam Larutan NaCl 3 %. *Konversi*. 3, 44-50.
- Watson, D.G. (2010). *Analisis Farmasi: Buku Ajar untuk Mahasiswa Farmasi dan Praktisi Kimia Farmasi, Edisi 2*. Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta.
- Zeba, K., Vir Singh, Muhmd, Ghulam, H. Z. 2015. Effect of Environment on corrosion behaviour of Alumunium. *International Journal on Enviromental Science*. Vol. 6(2): 281-286.
- Zhang, W., Hu Fuqiang., Tang, Jun., Xie, Juan., Tang, Junlei., Mao, Jianpeng., and Wang, Hu. 2018. Synergistic Effects between Gemini Inhibitor and Thiourea/thiazole/pyridine as Corrosion Inhibitors on N80 Steel in Brine Solution with Saturated CO₂. *International Journal of Electrochemical Science*. 13, 9803-9815.
- Zhang, Huan, H., Xiaolu, P., and Kewei, G. 2019. Effect of Surface Roughness on the Performance of Thioureido Imidozoline Inhibitor in CO₂-Saturated Brine. *Corrosion Science*. 157: 189–204.
- Zinad, D.S., Jawad, Q.A., Hussain, M.A.M., Mahal, A., Mohamed, L., and Al-Amiery, A.A. 2020. Adsorption, Temperature And Corrosion Inhibition Studies of A Coumarin Derivatives Corrosion Inhibitor For Mild Steel In Acidic Medium: Gravimetric And Theoretical Investigations. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 9 (1): 134–151.
- Zunita, M., Wahyuningrum, D., Buchari., and Bundjali, B. 2012. Investigation of corrosion inhibition activity of 3-butyl-2,4,5-triphenylimidazole and 3-butyl-2-(2-butoxyphenyl)-4,5-diphenylimidazole toward carbon steel in 1% NaCl solution. *International Journal of Electrochemical Science*. 7, 3274-3288.