

**MEKANISME ADSORPSI INHIBITOR KOROSI OLIGOMER
4-VINILPIRIDIN PADA PERMUKAAN BAJA LUNAK
DALAM MEDIUM KOROSIF CO₂**

(Skripsi)

Oleh

TB. SOFI SUDIRMANO



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

MEKANISME ADSORPSI INHIBITOR KOROSI OLIGOMER 4-VINILPIRIDIN PADA PERMUKAAN BAJA LUNAK DALAM MEDIUM KOROSIF CO₂

Oleh

TB SOFI SUDIRMANO

Oligomer 4-vinilpiridin yang digunakan pada penelitian ini telah difraksinasi dengan menggunakan Sephadex LH-20 sebagai fase diam dan metanol sebagai fase gerak. Fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin diuji aktivitasnya menggunakan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS) dengan konsentrasi bervariasi (0, 25, 50, 100 dan 150 mg L⁻¹) dan suhu bervariasi (30, 50 dan 70°C) sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam medium korosif CO₂. Data persen proteksi EIS digunakan untuk menentukan mekanisme adsorpsi menggunakan empat model adsorpsi, yaitu: Temkin, Langmuir, Frumkin dan Flory-Huggins. Permukaan baja lunak dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS). Hasil uji EIS menunjukkan fraksi yang memiliki kemampuan sebagai inhibitor korosi terbaik pada suhu 30°C yaitu F5, pada suhu 50 dan 70°C yaitu F1. Hasil mekanisme adsorpsi yang paling baik yaitu menggunakan model Langmuir dengan reaksi berlangsung secara spontan, adsorpsi terjadi secara kimia dan endotermik, serta entropi pada suhu paling tinggi menunjukkan adsorpsi paling baik. Hasil analisis permukaan menunjukkan F1 dan F2 paling baik dalam memproteksi baja lunak.

Kata kunci: Baja lunak, korosi CO₂, inhibitor korosi, fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin, mekanisme adsorpsi.

ABSTRACT

ADSORPTION MECHANISM OF 4-VINYLPYRIDINE OLIGOMERS AS CORROSION INHIBITORS ON THE SURFACE OF MILD STEEL IN CO₂ CORROSIVE MEDIUM

By

TB SOFI SUDIRMANO

The 4-vinylpyridine oligomer used in this study was fractionated using Sephadex LH-20 as the stationary phase and methanol as the mobile phase. The 4-vinylpyridine oligomeric fractions were tested for their activities using the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) method with varying concentrations (0, 25, 50, 100 and 150 mg L⁻¹) and varying temperatures (30, 50 and 70°C) as corrosion inhibitors on mild steel in CO₂ corrosive medium. EIS protection percent data was used to determine the adsorption mechanism using four adsorption models, namely: Temkin, Langmuir, Frumkin and Flory-Huggins. Mild steel surfaces were analyzed using Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS). The results of the fractionation obtained 5 fractions. The EIS test results show the fraction that has ability as the best corrosion inhibitor at temperature of 30°C, namely F5, at temperature of 50 and 70°C, namely F1. The best result of the adsorption mechanism is using the Langmuir model with the reaction taking place spontaneously, adsorption occurs chemically and endothermically, and the entropy at the highest temperature shows the best adsorption. The result of surface analysis shows that F1 and F2 are the best in protecting mild steel.

Kata kunci: Mild steel, CO₂ corrosion, corrosion inhibitor, 4-vinylpyridine oligomeric fractions, adsorption mechanism.

**MEKANISME ADSORPSI INHIBITOR KOROSI OLIGOMER
4-VINILPIRIDIN PADA PERMUKAAN BAJA LUNAK
DALAM MEDIUM KOROSIF CO₂**

Oleh

TB. SOFI SUDIRMANO

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

Jurusan Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

Judul Penelitian : **MEKANISME ADSORPSI INHIBITOR KOROSI OLIGOMER 4-VINILPIRIDIN PADA PERMUKAAN BAJA LUNAK DALAM MEDIUM KOROSIF CO₂**

Nama Mahasiswa : *TB. Sofi Sudirmano*

No. Pokok Mahasiswa : 1617011014

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Ilm, M.S.

NIP. 19650525 199003 2 002

Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Mulyono', is written above the name and NIP of the Dean.

Mulyono, Ph.D

NIP. 19740611 200003 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Ilm, M.S.**

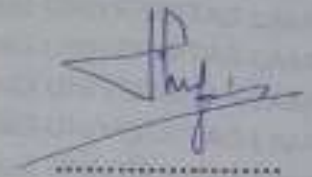


Penguji
Sekretaris

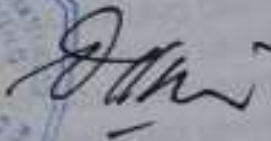
: **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D**



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



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Sripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **04 Agustus 2021**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : TB. Sofi Sudirmano
Nomor Pokok Mahasiswa : 1617011014
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul "**Mekanisme Adsorpsi Inhibitor Korosi Oligomer 4-vinilpiridin pada Permukaan Baja Lunak dalam Medium Korosif CO₂**" adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil dan analisisnya. Selanjutnya, saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 17 Agustus 2021
Menyatakan,



TB. Sofi Sudirmano
NPM. 1617011014

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, pada tanggal 16 September 1998 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, putra dari Bapak TB. Asep Abuhanifah AR dan Ibu Rospah. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 2 Perumnas Way Kandis pada tahun 2010, SMP Negeri 21 Bandar Lampung pada tahun 2013 dan SMA Negeri 15 Bandar Lampung pada tahun 2016. Penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa di Jurusan Kimia pada tahun 2016 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) dan lulus di tahun 2021.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila sebagai anggota Biro Kesekretariatan pada periode kepengurusan 2017, kemudian pada periode 2018 menjadi ketua Biro Kesekretariatan Organisasi Himaki FMIPA Unila. Pada tahun 2019, penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar serta asisten praktikum Kimia Fisik pada tahun 2019, 2020 dan 2021.

Pada tanggal 3 Januari sampai dengan 10 Februari 2019, penulis pernah melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Negeri Agung, Kecamatan Gunung Pelindung, Kabupaten Lampung Timur. Penulis pernah melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam Tbk Unit Pelabuhan Tarahan pada tanggal 3 Juli – 2 Agustus 2019. Pada tahun 2021, penulis telah menyelesaikan tugas akhir untuk mendapatkan gelar sarjana dengan membuat skripsi yang berjudul “Mekanisme Adsorpsi Inhiitor Korosi Oligomer 4-vinilpiridin pada Permukaan Baja Lunak dalam Medium Korosif CO₂”.

MOTTO

*“Kesuksesanmu tidak bisa dibandingkan dengan orang lain,
melainkan dibandingkan dengan dirimu sebelumnya”
(Jaya Setiabudi)*

*“Setiap orang memiliki jatah gagal. Habiskan jatah gagalmu
saat muda”
(Dahlan Iskan)*

*“Tidak ada kesuksesan bagiku melainkan dengan pertolongan
Allah SWT”
(Q.S. Huud : 88)*

*“Jalani, berdoa, berserah diri”
(anonim)*

*“Janganlah khilaf dengan dunia, karena dunia hanya fana”
(anonim)*

*“Jangan bandingkan dirimu dengan orang lain, karena
dirimu memiliki keunikan tersendiri”
(anonim)*

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dan segala puji syukur kepada-Nya, dengan kerendahan hati kupersembahkan karya tulis pertama ini kepada:

Orang tuaku tercinta
Bapak TB. Asep Abuhanifah AR dan Ibu Rospah
yang selalu memberikan kasih sayang, perhatian, doa dan dukungan disetiap langkah dalam mencapai tujuan dan kesuksesan. Semoga Allah SWT selalu melindungi kalian dan melimpahkan kasih sayang-Nya.

Kakakku tersayang
Dita Emelti Lubis dan Ratu Mia Alhaziyah
yang selalu menjadi kawan serta penyemangat

Seluruh dosen yang telah membimbing dan mendidik saya selama menempuh pendidikan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung

Seluruh sahabat dan almamater tercinta
Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan kemudahan yang selalu diberikan kepada hamba-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Mekanisme Adsorpsi Inhibitor Korosi Oligomer 4-vinilpiridin pada Permukaan Baja Lunak dalam Medium Korosif CO₂” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana (S.Si) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis Bapak TB. Asep Abuhanifah dan Ibu Rospah atas doa dan segalanya, semoga selalu diberikan perlindungan, pertolongan, rezeki dan kesehatan untuk kalian, amiin Ya Allah.
2. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Mulyono, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Ilim, M.S., selaku pembimbing utama dan satu-satunya, yang telah memberikan ilmu, pengalaman, nasihat, bimbingan, kritik dan saran yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan sampai selesainya skripsi ini.
5. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D dan Bapak Syaiful Bahri, M.Si. selaku pembahas yang telah memberikan saran, arahan dan semangat kepada penulis untuk skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Si. selaku pembimbing akademik yang selalu memberikan motivasinya.

7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama mengemban pendidikan di Jurusan Kimia.
8. Seluruh Karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas seluruh bantuan yang telah diberikan.
9. Dita Emelti Lubis dan Ratu Mia Alhaziyah yang selalu memberikan semangat dan asupan selama mengemban pendidikan.
10. Kepada adik tersayang Kiko yang selalu ada dan menemani di rumah.
11. Ilman Naafian Alfarisi, Reza Baihaqi, Remizar Alpaddli dan Deni Setiawan yang selalu mendukung dan menemani.
12. Rekan penelitian mbak Elin, Ahmad Misbah Khoeroni, Laila Hidayah dan Mutiara Nur Aulia yang selalu ada dan membantu hingga penulis wisuda.
13. Angkatan 2016 yang senantiasa memberikan informasi dan membantu penulis.
14. Teman seperjuangan Nabila, Bela, Riana dan Mariska yang selalu memberikan dukungan.
15. Pimpinan Himaki periode kepengurusan 2018 yang selalu memberikan dukungan dan moral.
16. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan skripsi penulis.
17. Almamater Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan penelitian selanjutnya. Akhir kata semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat untuk kita semua.

Bandar Lampung, 17 Agustus 2021
Penulis

TB. Sofi Sudirmano

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	xi
I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Manfaat Penelitian	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Baja.....	5
B. Definisi Korosi.....	6
C. Korosi CO ₂	7
D. Inhibitor	8
E. Adsorpsi	9
F. Mekanisme Adsorpsi.....	10
G. Vinilpiridin	15
H. Penentuan Laju Korosi	17
I. Parameter Termodinamika	19
J. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	22
III METODE PENELITIAN	24
A. Waktu dan Tempat Penelitian	24
B. Alat dan Bahan	24
C. Prosedur Penelitian	25
1. Persiapan larutan.....	25
2. Sintesis oligomer 4-vinilpiridin	25
3. Fraksinasi senyawa oligomer 4-vinilpiridin	25
4. Uji aktivitas sebagai inhibitor korosi	26
5. Penentuan parameter termodinamika	28
6. Analisis permukaan	28

IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
A. Hasil Sintesis dan Karakterisasi	30
B. Hasil <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)	30
C. Termodinamika Adsorpsi	38
D. Analisis Permukaan Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> <i>Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	47
V KESIMPULAN DAN SARAN	54
A. Kesimpulan.....	54
B. Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN.....	62
Lampiran I. Perhitungan Pembuatan Larutan.....	63
Lampiran II. Perhitungan Metode EIS	65
Lampiran III. Gambar Ekstrapolasi kurva Nyquist metode EIS	68
Lampiran IV. Perhitungan Model Adsorpsi Isotermal.....	106
Lampiran V. Gambar Adsorpsi Isoterm	108
Lampiran VI. Gambar Plot van't Hoff	114
Lampiran VII. Perhitungan Termodinamika	123
Lampiran VIII. Tabel Hasil Perhitungan Adsorpsi Isotermal.	125

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Plot adsorpsi isothermal Langmuir.	12
2. Plot adsorpsi isothermal Temkin.....	13
3. Plot adsorpsi isothermal Frumkin.	14
4. Plot adsorpsi isothermal Flory-Huggins.	15
5. Struktur 4-vinilpiridin dalam bentuk monomer dan dimer.	16
6. Spektrum kapasitansi antarmuka EIS.	18
7. Plot Van't Hoff.....	20
8. Susunan alat elektrokimia Voltalab.	27
9. Diagram alir penelitian.....	29
10. Kurva Nyquist blanko dan Fraksi 1 dengan variasi konsentrasi.....	31
11. Sirkuit Ekuivalen EIS.....	31
12. Data Ec-Lab blanko Fraksi 1 pada suhu 70 ⁰ C.	31
13. Kurva adsorpsi isothermal Temkin untuk Fraksi 1 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	39
14. Kurva adsorpsi isothermal Frumkin untuk Fraksi 1 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	40
15. Kurva adsorpsi isothermal Flory-Huggins untuk Fraksi 1 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.	41

16.	Kurva adsorpsi isotermal Langmuir untuk Fraksi 1 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	42
17.	Kurva adsorpsi isotermal Langmuir (a) F2, (b) F3, (c) F4 dan (d) F5 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	44
18.	Plot van't Hoff Fraksi 1 adsorpsi isotermal Langmuir.....	45
19.	Citra permukaan baja lunak (a) tanpa perlakuan, (b) setelah perlakuan tanpa inhibitor, (c) dengan F1 inhibitor, (d) dengan F2 inhibitor, (e) dengan F3 inhibitor, (f) dengan F4 inhibitor dan (g) dengan F5 inhibitor pada suhu 50°C dengan konsentrasi 150 mg L ⁻¹ dengan perbesaran 20000x.....	49
20.	Hasil SEM-EDS baja tanpa perlakuan.....	50
21.	Hasil SEM-EDS baja perlakuan tanpa inhibitor (blanko) pada suhu 50°C..	51
22.	Hasil SEM-EDS baja dengan perlakuan dan penambahan inhibitor Fraksi 1 oligomer 4-vinilpiridin pada suhu 50°C dan konsentrasi 150 mg L ⁻¹	52
23.	Kurva Nyquist blanko F1 pada suhu 30°C.....	68
24.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 25 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	68
25.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 50 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	69
26.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 100 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	69
27.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 150 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	70
28.	Kurva Nyquist blanko F2 pada suhu 30°C.....	70
29.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 25 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	71
30.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 50 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	71
31.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 100 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	72
32.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 150 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	72

33.	Kurva Nyquist blanko F3 pada suhu 30°C.....	73
34.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 25 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	73
35.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 50 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	74
36.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 100 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	74
37.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 150 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	75
38.	Kurva Nyquist blanko F4 pada suhu 30°C.....	75
39.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 25 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	76
40.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 50 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	76
41.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 100 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	77
42.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 150 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	77
43.	Kurva Nyquist blanko F5 pada suhu 30°C.....	78
44.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 25 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	78
45.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 50 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	79
46.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 100 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	79
47.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 150 mg L ⁻¹ pada suhu 30°C.....	80
48.	Kurva Nyquist blanko F1 pada suhu 50°C.....	80
49.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 25 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	81

50.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 50 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	81
51.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 100 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	82
52.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 150 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	82
53.	Kurva Nyquist blanko F2 pada suhu 50°C.....	83
54.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 25 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	83
55.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 50 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	84
56.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 100 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	84
57.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 150 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	85
58.	Kurva Nyquist blanko F3 pada suhu 50°C.....	85
59.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 25 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	86
60.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 50 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	86
61.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 100 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	87
62.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 150 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	87
63.	Kurva Nyquist blanko F4 pada suhu 50°C.....	88
64.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 25 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	88
65.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 50 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	89
66.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 100 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	89

67.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 150 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	90
68.	Kurva Nyquist blanko F5 pada suhu 50°C.....	90
69.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 25 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	91
70.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 50 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	91
71.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 100 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	92
72.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 150 mg L ⁻¹ pada suhu 50°C.....	92
73.	Kurva Nyquist blanko F1 pada suhu 70°C.....	93
74.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 25 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	93
75.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 50 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	94
76.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 100 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	94
77.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F1 150 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	95
78.	Kurva Nyquist blanko F2 pada suhu 70°C.....	95
79.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 25 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	96
80.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 50 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	96
81.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 100 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	97
82.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F2 150 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	97
83.	Kurva Nyquist blanko F3 pada suhu 70°C.....	98

84.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 25 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	98
85.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 50 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	99
86.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 100 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	99
87.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F3 150 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	100
88.	Kurva Nyquist blanko F4 pada suhu 70°C.....	100
89.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 25 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	101
90.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 50 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	101
91.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 100 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	102
92.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F4 150 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	102
93.	Kurva Nyquist blanko F5 pada suhu 70°C.....	103
94.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 25 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	103
95.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 50 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	104
96.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 100 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	104
97.	Kurva Nyquist blanko dengan penambahan O(4-VP) F5 150 mg L ⁻¹ pada suhu 70°C.....	105
98.	Kurva adsorpsi isotermal Temkin untuk Fraksi 2 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	108
99.	Kurva adsorpsi isotermal Temkin untuk Fraksi 3 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	108
100.	Kurva adsorpsi isotermal Temkin untuk Fraksi 4 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	109

101. Kurva adsorpsi isothermal Temkin untuk Fraksi 5 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	109
102. Kurva adsorpsi isothermal Frumkin untuk Fraksi 2 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	110
103. Kurva adsorpsi isothermal Frumkin untuk Fraksi 3 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	110
104. Kurva adsorpsi isothermal Frumkin untuk Fraksi 4 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	111
105. Kurva adsorpsi isothermal Frumkin untuk Fraksi 5 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.....	111
106. Kurva adsorpsi isothermal Flory-Huggins untuk Fraksi 2 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.	112
107. Kurva adsorpsi isothermal Flory-Huggins untuk Fraksi 3 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.	112
108. Kurva adsorpsi isothermal Flory-Huggins untuk Fraksi 4 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.	113
109. Kurva adsorpsi isothermal Flory-Huggins untuk Fraksi 5 pada konsentrasi dan suhu bervariasi.	113
110. Plot van't Hoff Fraksi 2 adsorpsi isothermal Temkin.....	114
111. Plot van't Hoff Fraksi 3 adsorpsi isothermal Temkin.....	115
112. Plot van't Hoff Fraksi 4 adsorpsi isothermal Temkin.....	115
113. Plot van't Hoff Fraksi 5 adsorpsi isothermal Temkin.....	116
114. Plot van't Hoff Fraksi 2 adsorpsi isothermal Langmuir.....	116
115. Plot van't Hoff Fraksi 3 adsorpsi isothermal Langmuir.....	117
116. Plot van't Hoff Fraksi 4 adsorpsi isothermal Langmuir.....	117
117. Plot van't Hoff Fraksi 5 adsorpsi isothermal Langmuir.....	118
118. Plot van't Hoff Fraksi 2 adsorpsi isothermal Frumkin.	118
119. Plot van't Hoff Fraksi 3 adsorpsi isothermal Frumkin.	119
120. Plot van't Hoff Fraksi 4 adsorpsi isothermal Frumkin.	119

121. Plot van't Hoff Fraksi 5 adsorpsi isothermal Frumkin.	120
122. Plot van't Hoff Fraksi 2 adsorpsi isothermal Flory-Huggins.....	120
123. Plot van't Hoff Fraksi 3 adsorpsi isothermal Flory-Huggins.....	121
124. Plot van't Hoff Fraksi 4 adsorpsi isothermal Flory-Huggins.....	121
125. Plot van't Hoff Fraksi 5 adsorpsi isothermal Flory-Huggins.....	122

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komposisi kimia baja lunak.....	26
2. Hasil EIS, % proteksi dan fraksi penutupan permukaan (θ) Fraksi 1 dengan suhu dan konsentrasi bervariasi	33
3. Hasil EIS, % proteksi dan fraksi penutupan permukaan (θ) Fraksi 2 dengan suhu dan konsentrasi bervariasi	34
4. Hasil EIS, % proteksi dan fraksi penutupan permukaan (θ) Fraksi 3 dengan suhu dan konsentrasi bervariasi	35
5. Hasil EIS, % proteksi dan fraksi penutupan permukaan (θ) Fraksi 4 dengan suhu dan konsentrasi bervariasi	36
6. Hasil EIS, % proteksi dan fraksi penutupan permukaan (θ) Fraksi 5 dengan suhu dan konsentrasi bervariasi	37
7. Tetapan termodinamika adsorpsi untuk Fraksi 1 sampai Fraksi 5 dengan isotermal Langmuir	46
8. Komposisi baja tanpa perlakuan	50
9. Komposisi baja dengan perlakuan tanpa inhibitor (blanko)	51
10. Komposisi baja dengan perlakuan dan penambahan inhibitor Fraksi 1 oligomer 4-vinilpiridin.....	52
11. Data hasil ekstrapolasi kurva Nyquist.....	65
12. Persen proteksi F1 pada suhu dan konsentrasi bervariasi	106
13. Tetapan termodinamika adsorpsi untuk Fraksi 1 sampai Fraksi 5 dengan isotermal Temkin	125

14. Tetapan termodinamika adsorpsi untuk Fraksi 1 sampai Fraksi 5 dengan isothermal Frumkin 125
15. Tetapan termodinamika adsorpsi untuk Fraksi 1 sampai Fraksi 5 dengan isothermal Flory-Huggins 126

I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Korosi merupakan proses degradasi suatu material karena adanya interaksi terhadap lingkungan dan merupakan salah satu masalah utama yang mempengaruhi kinerja, keamanan dan kemampuan dari material (Reyes *et al.*, 2017). Sedangkan menurut Yanuar *et al.* (2016), korosi merupakan penurunan mutu logam akibat adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya, yakni terjadinya perpindahan elektron antara bahan-bahan tersebut. Korosi dapat dikelompokkan berdasarkan jenis logam dan jenis lingkungan korosifnya. Berdasarkan jenis lingkungannya ada beberapa jenis korosi antara lain; korosi O₂, korosi H₂S, korosi asam sulfat, korosi asam nitrat dan korosi CO₂. Pada Industri gas dan minyak bumi, korosi yang terjadi umumnya disebabkan oleh adanya gas CO₂.

Wang *et al.* (2019), mengatakan bahwa korosi CO₂ adalah salah satu faktor paling umum yang berkontribusi terhadap kerusakan bahan logam selama eksploitasi dan pemindahan hasil minyak dan gas di seluruh dunia. Korosi yang terjadi pada material baja lunak oleh CO₂ dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu korosi umum juga dikenal sebagai korosi seragam dan korosi lokal. Korosi secara umum mempunyai dampak sehingga menimbulkan kerugian seperti menurunkan kinerja mesin dan daya guna material terutama efektivitas dari material tersebut (Susilowati *and* Sumardiyanto, 2018). Korosi CO₂ terjadi karena adanya interaksi dari pipa yang terbuat dari baja lunak dengan minyak dan gas yang mengandung gas CO₂ dan air sehingga terbentuk produk korosi yang berakibat kebocoran pada pipa baja lunak. Akibat adanya kebocoran pipa minyak dan gas memberikan

dampak buruk baik dari segi ekonomi, keselamatan, maupun lingkungan. Dampak dari segi ekonomi dibutuhkan biaya yang sangat besar untuk pergantian bahan dan material untuk pipa dan hilangnya sebagian produk. Dari segi keselamatan dapat menyebabkan kecelakaan sedangkan dari segi lingkungan dapat mencemarkan lingkungan dan membunuh biota yang ada di sekitarnya (Aprilliani *and* Suka, 2017; Oleynik *et al.*, 2017; Obike *et al.*, 2018).

Banyaknya kerusakan yang diakibatkan oleh korosi CO₂, beberapa metoda penanggulangan dapat dilakukan antara lain yaitu; perencanaan dan pemilihan bahan, proteksi anodik dan katodik, *coating* dan penggunaan inhibitor korosi. Penambahan inhibitor korosi adalah salah satu metoda yang sangat populer disebabkan karena mudah dan efektif dalam penggunaannya. Inhibitor korosi adalah suatu senyawa jika ditambahkan dalam jumlah sedikit pada medium korosif dapat menurunkan laju korosi. Inhibitor korosi digolongkan menjadi inhibitor anorganik dan inhibitor organik. Inhibitor organik lebih banyak digunakan karena memiliki kelebihan seperti tidak bersifat toksik dan ramah lingkungan dibandingkan dengan inhibitor anorganik yang umumnya bersifat beracun dan tidak ramah lingkungan. Sebagian besar inhibitor yang digunakan dalam industri adalah senyawa organik yang mengandung atom nitrogen, oksigen, fosfor dan sulfur. Inhibitor yang mengandung ikatan rangkap atau rangkap tiga berperan penting dalam memfasilitasi adsorpsi senyawa ini ke permukaan logam. Karena ikatan dapat terbentuk antara pasangan elektron dan awan elektron pi dari atom donor dengan lubang logam, sehingga mengurangi serangan korosif dalam media asam (Ferreira *et al.*, 2016; Hameed *et al.*, 2017; Kruzhilin *et al.*, 2021).

Berbagai macam inhibitor korosi telah digunakan untuk memproteksi korosi CO₂, diantaranya; ekstrak bahan alam (Ibrahim *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2018; Jinchang *et al.*, 2019), imidazoline (Singer *and* Ne., 2015; Zhang *et al.*, 2015; Sudiarti, 2017; Qian *and* Cheng, 2019), pirimidin (Onyeachu *et al.*, 2019), polimer (Al-shihry *et al.*, 2020; Saadi *et al.*, 2019). Penggunaan polimer dengan berat molekul rendah yang disebut oligomer khususnya 4-vinilpiridin telah dilakukan oleh (Ilim *et al.*, 2016; Ilim, 2017; Ilim *et al.*, 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa oligomer 4-vinilpiridin dapat berfungsi sebagai

inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif yang mengandung CO₂. Oligomer 4-vinilpiridin dapat menghambat korosi CO₂ pada konsentrasi dan suhu bervariasi. Kemampuan inhibisinya lebih baik pada konsentrasi lebih tinggi dan suhu lebih tinggi, dan hal ini diprediksi terjadi interaksi antara inhibitor korosi dengan permukaan baja lunak secara adsorpsi kimia. Untuk membuktikan mekanisme inhibisi oligomer 4-vinilpiridin dengan permukaan baja lunak perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan empat model metoda adsorpsi yaitu: Temkin, Langmuir, Frumkin dan Flory-Huggins.

Pada penelitian ini, telah dipelajari mengenai mekanisme adsorpsi fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin pada permukaan baja lunak dalam medium korosif mengandung CO₂. Urutan proses yang dilakukan pada penelitian ini yaitu fraksinasi oligomer 4-vinilpiridin menggunakan *Sephadex* LH-20 yang bertujuan untuk menunjukkan hubungan antara berat molekul senyawa dengan kemampuan inhibisi korosi dan uji korosi dengan metode *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), sehingga didapatkan persen proteksinya. Selanjutnya data hasil persen proteksi inhibisi digunakan untuk menentukan mekanisme adsorpsi dengan empat model adsorpsi yaitu: Langmuir, Temkin, Frumkin dan Flory-Huggins, sehingga dapat diketahui model adsorpsi isotherm mana yang sesuai untuk interaksi antara fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin dengan permukaan baja lunak.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan proses fraksinasi menggunakan *Sephadex* LH-20, mengkaraktirasi berat molekul dan menentukan kemampuan inhibisi sebagai inhibitor korosi menggunakan EIS dari oligomer 4-vinilpiridin.
2. Menentukan mekanisme adsorpsi inhibisi korosi yang paling baik dari data EIS fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin pada permukaan baja lunak menggunakan persamaan Langmuir, Temkin, Frumkin dan Flory-Huggins.

C. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui aktivitas fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin sebagai inhibitor korosi.
2. Mengetahui mekanisme inhibisi dari fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin pada permukaan baja lunak.

II TINJAUAN PUSTAKA

A. Baja

Baja adalah material logam yang terbentuk dari paduan logam besi (Fe) dan karbon (C), dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Baja karbon banyak digunakan dalam sejumlah besar di berbagai industri karena sifat mekaniknya yang baik. Sifat mekanik pada baja bergantung pada kandungan karbon, dimana secara normal kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,1% hingga 1,7% sesuai dengan tingkatannya. Berdasarkan komposisinya, baja dibedakan menjadi baja karbon atau *carbon steel* dan baja paduan atau *alloy steel* (Ramezanzadeh *et al.*, 2019).

1. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

Menurut Luo (2019), baja karbon didefinisikan sebagai campuran karbon (C) dan besi (Fe), umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit paduan lainnya. Berdasarkan konsentrasi karbonnya, baja karbon digolongkan menjadi; baja karbon rendah (*low carbon steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*) dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*).

2. Baja Paduan (*Alloy Steel*)

Baja paduan merupakan suatu baja yang tercampur dengan satu atau lebih unsur campuran, pembuatan baja paduan ini dikarenakan adanya keterbatasan baja karbon dengan sifat-sifat yang spesial dari logam terutama baja. Sifat-sifat spesial yang dimiliki oleh baja paduan ini meliputi sifat kelistrikan,

magnetis, koefisien spesifik serta pemuaian panas pada pemanasan yang berhubungan dengan pemotongan logam. Baja paduan terbagi dalam 3 jenis yaitu; baja paduan rendah (*low alloy steel*), baja paduan menengah (*medium alloy steel*) dan baja paduan tinggi (*high alloy steel*). Selain karbon dan besi, terdapat kandungan unsur-unsur paduan lain pada baja (Gloc *et al.*, 2016). Menurut Wei *et al.* (2016), pengaruh unsur-unsur paduan pada baja adalah; unsur fosfor (P), unsur sulfur (S), unsur silikon (Si) dan unsur mangan (Mn).

Pada penelitian ini baja yang digunakan masih tergolong dalam baja jenis menengah yaitu *mild steel* (baja lunak). Baja lunak akan digunakan sebagai objek penelitian yang akan dilihat seberapa parah tidaknya korosi yang terbentuk pada permukaan baja. Komposisi baja lunak yang digunakan yaitu: Fe 98,8; Mn 0,74; C 0,22; Si 0,014; P 0,02; Ni 0,05; Cr 0,04; Mo <0,01; Cu <0,01 dan Al <0,01.

B. Definisi Korosi

Korosi biasanya didefinisikan sebagai kemerosotan logam ataupun sifatnya yang disebabkan oleh reaksi logam itu dengan lingkungannya, pengertian korosi tersebut dikhususkan pada material logam. Reaksi bahan non logam seperti rusaknya bahan plastik dan pelapukan kayu tidak termasuk dalam pengertian korosi. Degradasi logam akibat reaksi fisik seperti erosi juga tidak digolongkan sebagai reaksi korosi. Korosi atau yang lebih dikenal dengan pengkaratan, secara umum didefinisikan sebagai penurunan mutu dari logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi dapat terjadi dengan cepat atau lambat, tergantung dari pengaruh lingkungan sekelilingnya. Di sini yang dimaksud dengan lingkungan sekelilingnya dapat berupa lingkungan asam, udara, embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai dan air tanah.

Proses elektrokimia yang dihasilkan oleh korosi terjadi dari gabungan reaksi setengah sel. Reaksi setengah sel terjadi pada anoda dan katoda yang merupakan reaksi oksidasi reduksi. Reaksi oksidasi anoda pada sistem korosi disebut dengan reaksi anodik dan reaksi reduksi katoda disebut dengan reaksi katodik. Korosi terjadi karena adanya reaksi anodik, reaksi katodik, sebuah jalur logam yang

menghubungkan reaksi anodik dan katodik serta adanya elektrolit, sehingga dapat disimpulkan terdapat 4 komponen penting dalam kelangsungan korosi yaitu; anoda, katoda, elektrolit dan hubungan listrik (Mansoori *et al.*, 2017).

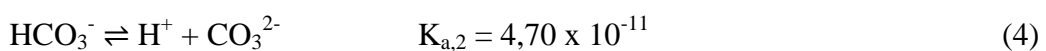
C. Korosi CO₂

Menurut (Tatiana *and* Elaine, 2017), dalam produksi gas dan minyak bumi, selain H₂S senyawa CO₂ merupakan salah satu faktor utama penyebab korosi. Gas ini tidak bersifat korosif jika berada dalam keadaan kering dan tidak terlarut dalam air. Namun, ketika dalam keadaan basah dan terlarut dalam air, gas ini akan membentuk suatu asam lemah H₂CO₃ yang bersifat korosif.

Menurut Kahyarian *et al.* (2017) mekanisme korosi CO₂ secara umum, CO₂ yang terlarut dalam air akan membentuk asam karbonat seperti Reaksi 1.



Dibandingkan dengan oksigen, Reaksi 1 cenderung terjadi akibat daya larut CO₂ yang lebih tinggi dari oksigen. Asam karbonat merupakan asam lemah, dimana pada temperatur kamar kurang dari 0,1 % saja yang terdisosiasi dan dapat dilihat pada Reaksi 3 dan 4 (Kahyarian *et al.*, 2018).



Jika korosi CO₂ dapat dikategorikan sebagai korosi yang diakibatkan oleh asam lemah, dimana baja terkorosi akibat reduksi dari H⁺ dan oksidasi dari Fe, seharusnya dari Reaksi 3 dan 4 tingkat korosif dari CO₂ sangat lemah, hal ini dikarenakan tingkat disosiasi yang rendah. Nyatanya, tingkat korosif dari asam karbonat adalah lebih tinggi dari nilai reaksi diatas. Fenomena yang diketahui pada tahun 1924 adalah pada pH tertentu korosi yang terjadi pada baja lebih banyak disebabkan oleh larutan cair yang mengandung CO₂ dibandingkan dengan HCl. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa ion hidrogen merupakan

unsur korosif utama dalam korosi CO₂ (Kahyarian *et al.*, 2019). Menurut Motte *et al.* (2018), faktor–faktor yang mempengaruhi korosi CO₂ adalah; *supersaturation* (lewat jenuh), tekanan parsial CO₂, efek H₂S dan kandungan air (*water cut*).

Pada penelitian ini medium korosif yang digunakan adalah medium korosif NaCl 3% yang jenuh CO₂, sehingga dapat diketahui bagaimana peran inhibitor dalam menghambat korosi yang terbentuk ketika menggunakan medium korosif tersebut.

D. Inhibitor

Pengendalian korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah menggunakan inhibitor. Inhibitor berasal dari kata “inhibisi” yang memiliki arti menghambat, inhibitor adalah suatu zat kimia yang apabila ditambahkan atau dimasukkan dalam jumlah sedikit ke dalam suatu lingkungan yang korosif, dapat secara efektif memperlambat atau mengurangi laju pengkaratan yang ada.

Menurut Gibney *et al.* (2016), secara umum mekanisme kerja inhibitor adalah:

1. Pembentukan lapisan tipis pada permukaan dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor pada permukaan logam karena permukaan logam mengadsorpsi inhibitor.
2. Melalui pengaruh lingkungan atau pH dari lingkungan menyebabkan inhibitor mengendap pada permukaan logam dan teradsorpsi, sehingga membentuk lapisan yang melindungi dari serangan korosi.
3. Inhibitor melakukan korosi terlebih dahulu terhadap logam kemudian menghasilkan produk korosi dan mengalami proses adsorpsi sehingga membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
4. Penghilangan konstituen yang agresif dari lingkungannya.

Berdasarkan bahan dasarnya, inhibitor korosi dibagi menjadi dua yaitu inhibitor dari senyawa organik dan senyawa anorganik.

a. Inhibitor anorganik

Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang terbuat dari bahan kimia yang umumnya bersifat toksik. Inhibitor anorganik memiliki gugus aktif berupa anion negatif yang bersifat sebagai inhibitor anodik, sehingga mampu mengurangi korosi (Wiston, 2000). Kandungan material dasar dari inhibitor anorganik umumnya yaitu kromat, nitrit, silikat dan pospat.

b. Inhibitor organik

Inhibitor dari bahan organik membentuk senyawa kompleks yang mengendap pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang dapat menghambat reaksi logam dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi dapat berupa reaksi anodik, reaksi katodik, atau keduanya bergantung dari reaksi pada permukaan dan potensial logam tersebut. Penggunaan inhibitor organik dengan konsentrasi yang tepat dapat mengoptimalkan perlindungan pada seluruh logam (Roberge, 2000). Beberapa senyawa organik yang tergolong berpotensi sebagai inhibitor korosi yaitu senyawa turunan asam lemak alifatik seperti, asam lemak monoamina, diamina, amida, asetat dan oleat.

Dalam penelitian ini jenis inhibitor yang digunakan yaitu jenis inhibitor organik, hal ini dikarenakan sifatnya yang ramah lingkungan dan tidak beracun. Inhibitor korosi organik yang digunakan adalah oligomer 4-vinilpiridin yang memiliki atom nitrogen di dalamnya sehingga memiliki potensi sebagai inhibitor korosi pada baja lunak.

E. Adsorpsi

Proses adsorpsi merupakan pemisahan komponen dari campuran berdasarkan perpindahan massa ketika dalam campuran adsorbat (air/gas) bertemu dengan adsorben (padat). Apabila keduanya bertemu, maka kedua komponen akan diencerkan dalam larutan dan akan ditransfer dari fase cair ke permukaan adsorben. Proses adsorpsi tergantung pada beberapa faktor, yaitu adsorbat, sifat adsorben dan kondisi adsorpsi berupa pH, suhu, rasio padat/cair (Vidal *et al.*,

2012).

Adsorpsi dibedakan menjadi dua macam yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik mempunyai gaya intermolekuler yang lemah, sedangkan adsorpsi kimia terjadi pembentukan ikatan kimia antara molekul adsorbat dengan molekul yang terikat pada permukaan adsorben (Estiaty, 2013). Metode adsorpsi pada umumnya berdasarkan interaksi logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi pembentukan kompleks. Adsorpsi biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya akan gugus fungsional seperti $-OH$, $-NH$, $-SH$ dan $-COOH$. Aspek penting dalam mekanisme adsorpsi adalah termodinamika dan kinetika adsorpsi. Kinetika adsorpsi meninjau proses adsorpsi berdasarkan laju adsorpsi, sedangkan termodinamika adsorpsi meninjau tentang kapasitas adsorpsi serta energi adsorpsi yang terlibat dalam prosesnya.

Pada penelitian ini yang ditinjau adalah aspek termodinamikanya berupa nilai ΔH_{ads} , ΔG_{ads} dan ΔS_{ads} sehingga dapat diketahui jenis adsorpsi dan besarnya energi yang terlibat pada inhibitor korosi, dalam hal ini inhibitor yang digunakan adalah fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin.

F. Mekanisme Adsorpsi

Inhibitor terdiri dari material-material organik panjang dengan rantai samping yang teradsorpsi ke permukaan logam. Molekul berukuran besar ini dapat membatasi difusi oksigen ke permukaan atau memerangkap ion-ion logam di permukaan (Ahmad *et al.*, 2018). Berdasarkan pada besarnya interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat, proses adsorpsi terbagi menjadi dua yaitu:

1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals*, yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini terjadi apabila suatu adsorbat dialirkan

pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisika adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya (Arenas *et al.*, 2016).

2. Adsorpsi Kimia

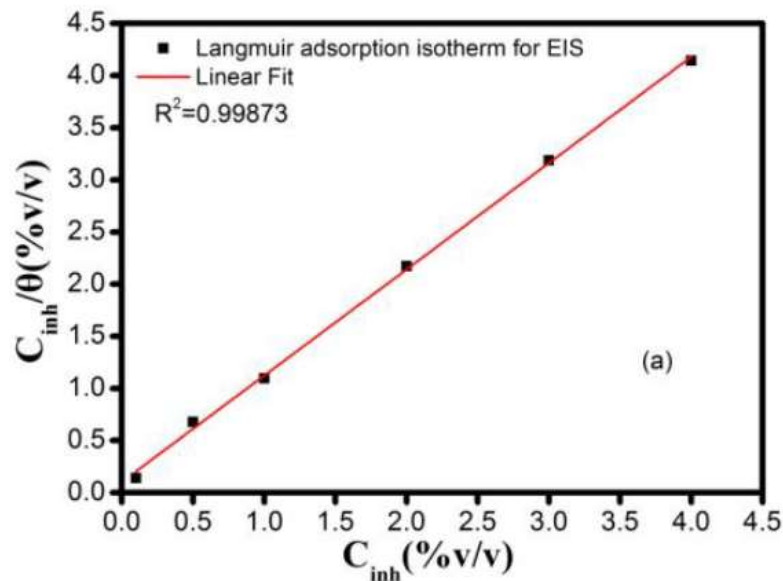
Adsorpsi yang terjadi karena adanya reaksi antara zat yang diserap dengan adsorben panas dan adsorpsinya tinggi sehingga lapisan molekul pada adsorben hanya satu lapis dan terbentuk ikatan kimia. Peristiwa adsorpsi disebabkan oleh daya tarik molekul di permukaan adsorben dan adsorpsi menurunkan ketidakseimbangan daya tarik yang terjadi di permukaan.

Menurut (Ituen *et al.*, 2017), terdapat beberapa mekanisme adsorpsi yang dapat diaplikasikan yaitu; Langmuir, Temkin, Frumkin dan Flory-Huggins.

a. Model Adsorpsi Isotermal Langmuir

Sejauh ini adsorpsi inhibitor korosi pada permukaan logam yang bersangkutan, model isotermal adsorpsi Langmuir adalah yang paling banyak digunakan. Irving Langmuir pada tahun 1916 mengembangkan model ini untuk menjelaskan hubungan antara cakupan permukaan gas yang diserap dan tekanan gas di atas permukaan adsorbennya pada tekanan konstan. Ia mengasumsikan adsorpsi monolayer dari adsorbat pada jumlah tetap dari suatu adsorpsi lokal tertentu. Molekul diasumsikan identik dan setara tanpa interaksi lateral atau hambatan sterik. Dari semua aspek tersebut diaplikasikan ke dalam Persamaan 1, sesuai literatur yang didapatkan dari penelitian sebelumnya tentang mekanisme adsorpsi inhibitor korosi menggunakan model Langmuir yang dilakukan oleh (El-lateef *et al.*, 2015; Javadian *et al.*, 2016; Driouch *et al.*, 2018; Hassannejad and Nouri, 2018; Al-shihry *et al.*, 2020; Alaba *et al.*, 2020) dan contoh plot Langmuir disajikan pada Gambar 1.

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K} + C \quad (1)$$



Gambar 1. Plot adsorpsi isotermal Langmuir (Chen *et al.*, 2017).

Gambar 1 merupakan hasil plot antara C_{inh} terhadap C_{inh}/θ sehingga diperoleh garis linear dan menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,99873. Data ini didapatkan dari mengolah nilai konsentrasi inhibitor korosi dan nilai proteksinya pada suhu tetap.

b. Model Adsorpsi Isotermal Temkin

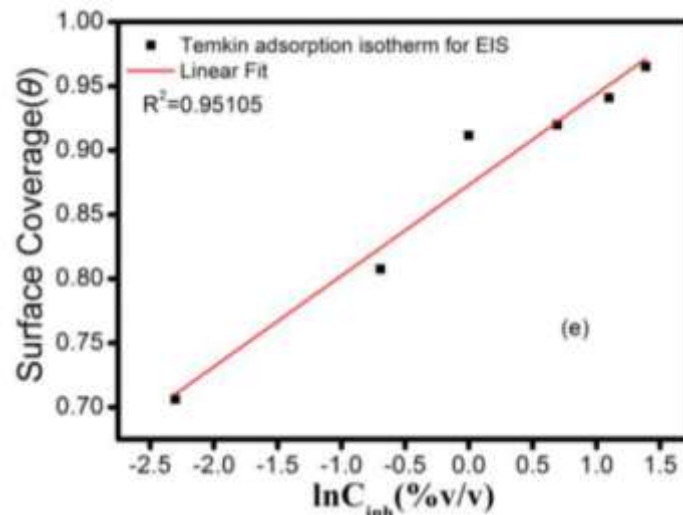
Isoterm adsorpsi yang telah dikenal lainnya dan banyak digunakan dalam deskripsi mekanisme kerja inhibitor korosi adalah model Temkin. Tidak seperti yang lain yang dibahas sejauh ini, model Temkin memberikan beberapa wawasan tentang sifat interaksi yang terjadi di lapisan teradsorpsi. Model Temkin dinyatakan pada Persamaan 2 dan telah digunakan penelitian sebelumnya oleh (Chen *et al.*, 2017; Driouch *et al.*, 2018).

$$e^{f\theta} = K C \quad (2)$$

Nilai f adalah parameter interaksi molekuler. Parameter interaksi molekuler, tergantung pada tandanya, digunakan untuk memprediksi apakah tarik-menarik atau tolakan terjadi di lapisan teradsorpsi. Persamaan 2 dimodifikasi menjadi

Persamaan 3, sehingga persamaan yang di linearisasi dapat digunakan untuk memperoleh plot linier θ terhadap $\ln C$. Penelitian tentang korosi yang menggunakan persamaan yang sama telah digunakan oleh Ilim *et al.* (2017). Salah satu contoh plot Temkin dapat dilihat pada Gambar 2

$$\ln C = f\theta - \ln K \quad (3)$$



Gambar 2. Plot adsorpsi isotermal Temkin (Chen *et al.*, 2017).

Gambar 2 merupakan hasil plot antara $\ln C_{inh}$ terhadap θ sehingga diperoleh garis linear dan menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,95105. Data ini didapatkan dari mengolah nilai konsentrasi inhibitor korosi dan nilai proteksinya pada suhu tetap.

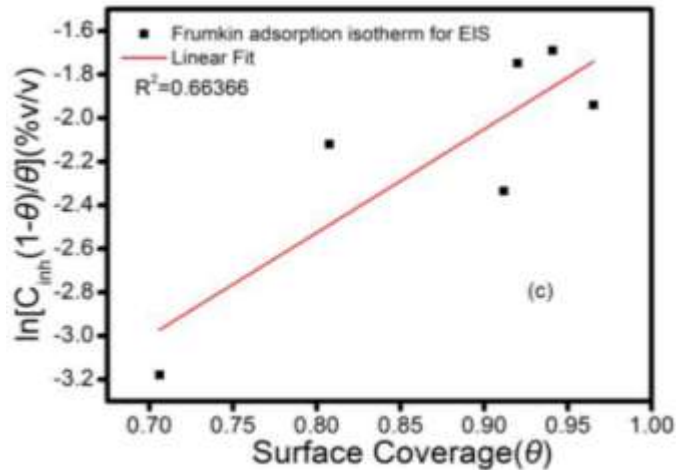
c. Model Adsorpsi Isotermal Frumkin

Pendekatan Frumkin merupakan salah satu yang diterapkan dalam adsorpsi inhibitor korosi pada permukaan logam dan diungkapkan dengan Persamaan 4.

$$\ln\left(\frac{\theta}{C(1-\theta)}\right) = 2a\theta + \ln K \quad (4)$$

Penelitian tentang korosi yang menggunakan persamaan Frumkin untuk melihat mekanisme adsorpsi telah dilakukan oleh (Tolulope *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2017; Ituen *et al.*, 2017; Driouch *et al.*, 2018; Alaba *et al.*, 2020). Nilai a

merupakan parameter interaksi molekul yang terjadi pada lapisan teradsorpsi. Plot yang dihasilkan dari model Frumkin berupa grafik linear antara θ dengan $\ln(\theta/C(1-\theta))$ yang dapat dilihat pada Gambar 3.



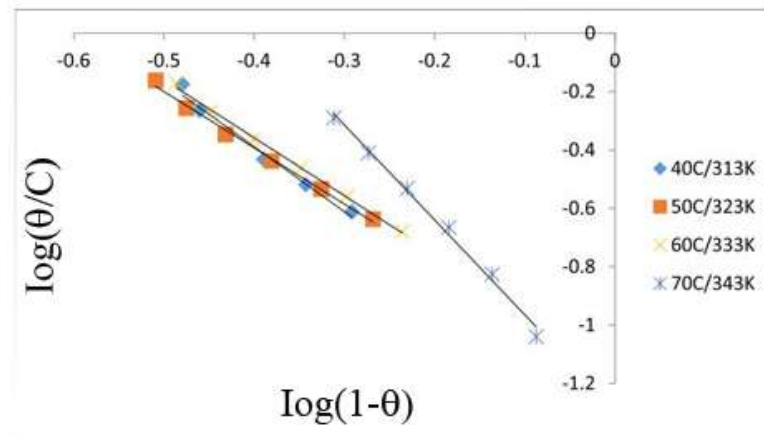
Gambar 3. Plot adsorpsi isothermal Frumkin (Chen *et al.*, 2017).

Gambar 3 memperoleh garis linear dan menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,66366. Data ini didapatkan dari mengolah nilai konsentrasi inhibitor korosi dan nilai proteksinya pada suhu tetap.

d. Model Adsorpsi Isotermal Flory-Huggins

Model Flory-Huggins diyakini sebagai model substitusi karena parameter konstanta (x) dalam persamaan menggambarkan substitusi molekul penghambat untuk molekul air. Persamaan model Flory-Huggins direalisasikan pada Persamaan 5. Beberapa penelitian lainnya tentang mekanisme adsorpsi menggunakan persamaan Flory-Huggins telah dilakukan oleh (Ituen *et al.*, 2017; Driouch *et al.*, 2018; Alaba *et al.*, 2020). Salah satu contoh plot Flory-Huggins dapat dilihat pada Gambar 4.

$$\ln\left(\frac{\theta}{C}\right) = x \ln(1-\theta) + \ln K \quad (5)$$



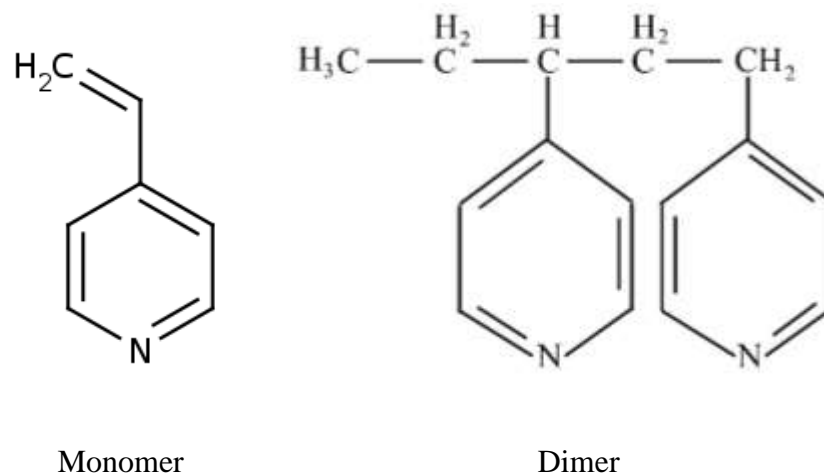
Gambar 4. Plot adsorpsi isothermal Flory-Huggins (Alaba *et al.*, 2020).

Gambar 4 merupakan mekanisme adsorpsi Flory-Huggins, grafik tersebut menunjukkan hasil plot antara $\log(1-\theta)$ terhadap $\log(\theta/C)$ sehingga didapatkan garis lurus atau linier pada suhu 40,50,60, dan 70°C.

Pada penelitian ini senyawa yang digunakan untuk penentuan mekanisme adsorpsi dengan empat model adsorpsi isothermal adalah fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin. Dari empat model tersebut akan dilihat mana yang paling cocok dalam perhitungannya sehingga dapat diketahui jenis adsorpsi apa yang terjadi.

G. Vinilpiridin

Vinilpiridin merupakan senyawa organik yang memiliki hubungan dengan korosi yaitu sebagai inhibitor korosi. Vinilpiridin merupakan senyawa organik dengan ciri memiliki bau yang tajam dan dapat larut dalam pelarut organik. Di bawah ini merupakan gambar dari 4-vinilpiridin dan polimer dalam bentuk dimer, ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Struktur 4-vinilpiridin dalam bentuk monomer dan dimer.

Vinilpiridin lebih efektif menjadi inhibitor korosi dalam bentuk polimer karena akan memberikan manfaat seperti tahan terhadap substitusi aromatik elektrofilik tetapi mempunyai reaktivitas kimia yang tinggi dengan cincin nitrogen dan basa lemah. Vinilpiridin dalam bentuk polimer dengan rantai yang lurus atau terbuka dapat disintesis dengan beberapa teknik antara lain polimerisasi dengan inisiasi radiasi, inisiasi *Ziegler-Natta*, inisiasi radikal bebas dan inisiasi anionik.

Polimerisasi adisi (radikal bebas) vinilpiridin (VP) adalah teknik yang umum dalam literatur dan dilakukan menggunakan inisiator seperti hidrogen peroksida yang pernah digunakan oleh (Ilim, 2017; Ilim *et al.*, 2021).

Senyawa polivinilpiridin adalah nama umum untuk suatu polimer yang dapat dihasilkan dengan cara mensintesis dari monomernya. Pada penelitian ini monomer yang digunakan yaitu 4-vinilpiridin yang akan disintesis menjadi oligomer 4-vinilpiridin yang selanjutnya di fraksinasi, serta dilihat keefektifannya menjadi inhibitor korosi.

Senyawa oligomer 4-vinilpiridin yang telah diteliti oleh Ilim, (2017) menunjukkan bahwa senyawa tersebut dapat menjadi inhibitor korosi dan proteksinya semakin baik dengan naiknya suhu dan meningkatnya konsentrasi inhibitor yang digunakan. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh (Ilim *et al.*, 2021), senyawa hasil sintesis oligomer 4-vinilpiridin menggunakan inisiator hidrogen peroksida konsentrasi rendah yang didapatkan menunjukkan bahwa proteksi yang dihasilkan

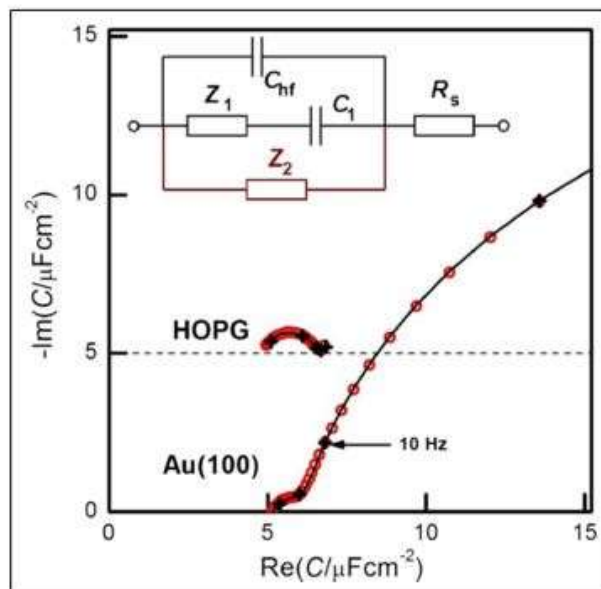
oleh inhibitor terhadap permukaan baja lunak yang terkorosi meningkat seiring bertambahnya suhu dan konsentrasi serta diperkirakan reaksi adsorpsi terjadi secara kimia. Karena hal tersebut maka, dalam penelitian ini ditentukan mekanisme adsorpsi menggunakan model isothermal adsorpsi Temkin, Langmuir, Frumkin dan Flory-Huggins terhadap fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin dengan suhu dan konsentrasi bervariasi pada permukaan baja lunak.

H. Penentuan Laju Korosi

Laju korosi pada umumnya dilakukan dengan dua metoda, yaitu metoda kehilangan berat atau *wheel test* dan metoda elektrokimia. Metoda kehilangan berat atau *wheel test* dilakukan sebagai *screening test* untuk menunjukkan apakah senyawa memiliki potensi sebagai inhibitor korosi, sedangkan metoda elektrokimia merupakan metoda lebih lanjut untuk mengetahui tingkat kemampuan senyawa sebagai inhibitor korosi. Metoda elektrokimia yang digunakan pada penelitian ini yaitu spektroskopi impedansi elektrokimia (*electrochemical impedance spectroscopy*) atau dapat disingkat EIS.

Teknik elektrokimia, termasuk EIS, merupakan teknik yang paling umum digunakan untuk evaluasi dan studi korosi pada logam. EIS merupakan salah satu teknik yang ampuh untuk mengkarakterisasi berbagai variasi sistem elektrokimia dan untuk menentukan kontribusi proses elektroda atau elektrolitik dalam sistem. EIS adalah teknik karakterisasi yang kuat dan banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti energi, elektrokatalisis dan kedokteran. Dua faktor membuat EIS sangat menarik yaitu pertama, data EIS dapat digunakan untuk memperoleh bukti fisik, seperti koefisien difusi dan laju reaksi kimia, serta karakteristik mikrostruktur dari sistem elektrokimia (EC) yang diteliti dan yang kedua, penerapan EIS percobaan relatif sederhana (Ciucci, 2018). EIS merupakan alat yang efisien dalam mengukur laju korosi pada logam, paduan logam dan / atau logam berlapis (Al-shihry *et al.*, 2020).

Prinsip teknik ini adalah menerapkan sinyal bolak-balik amplitudo kecil (5-20 mV) ke elektroda yang dimasukkan ke dalam elektrolit. Teknik EIS bekerja dalam domain frekuensi dan berbasis pada konsep bahwa antarmuka dapat dilihat sebagai kombinasi elemen rangkaian listrik pasif, yaitu resistansi, kapasitansi dan induktansi. Ketika arus bolak-balik diterapkan ke elemen ini, arus yang dihasilkan diperoleh dengan menggunakan hukum Ohm. Pengukuran EIS biasanya diinterpretasikan dengan menggunakan determinasi antara data impedansi dan rangkaian ekivalen yang mewakili proses fisik yang terjadi pada sistem investigasi atau melalui representasi grafis (Ribeiro *and* Abrantes, 2016). Salah satu contoh spektrum kapasitansi antar muka dari EIS dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum kapasitansi antarmuka EIS (Pajkossy *and* Jurczakowski, 2017).

Gambar 6 menunjukkan spektrum kapasitansi antar muka (1 kHz – 1 Hz) dari Au (100) dan HOPG di BMIPF 6; titik data terukur (simbol terbuka) dikombinasikan dengan yang terpasang (garis padat). Spektrum HOPG bergeser sepanjang koordinat yang menunjukkan suatu kejelasan. Spektrum kapasitansi antarmuka, $C(\omega)$ dihitung dari spektrum impedansi $Z(\omega)$ yang diukur sebagai $C(\omega) \equiv 1/\{Z(\omega) - R_s\} = 1/\{Z(\omega) - Z(\omega \rightarrow \infty)\}$. Dengan pengecualian kapasitansi yang

dipengaruhi oleh proses korosi atau penataan ulang yang lambat dari elektroda, kapasitansi lapisan ganda yang bergantung pada frekuensi, $C(\omega)$, mewakili busur tunggal pada bidang kapasitansi kompleks (Pajkossy *and* Jurczakowski, 2017).

I. Parameter Termodinamika

Pengetahuan tentang parameter termodinamika sudah banyak digunakan untuk mengetahui proses reaksi yang terjadi pada larutan terhadap suatu bahan lain. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi termodinamika diantaranya energi bebas Gibbs (ΔG), entropi (ΔS) dan entalpi (ΔH). Dari ketiga hal tersebut dapat menunjukkan spontan tidaknya suatu reaksi, reaksi bekerja secara endotermik atau eksotermik dan penyerapan secara fisika maupun kimia.

Faktor termodinamika pertama yaitu entalpi (ΔH), merupakan sejumlah panas yang dilepaskan atau diserap oleh sistem termodinamika dari lingkungan sekitarnya ketika berada pada tekanan konstan. Entalpi yang terjadi pada proses penyerapan maka disebut entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}). Entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) pada sistem termodinamika dapat menunjukkan reaksi adsorpsi berlangsung secara endotermik atau eksotermik dan fisisorpsi atau kemisorpsi. Penelitian yang mendukung mengatakan bahwa jika nilai ΔH_{ads} positif menunjukkan suatu proses adsorpsi endotermik dan secara kemisorpsi, sedangkan jika nilai ΔH_{ads} negatif menunjukkan adsorpsi eksotermik dan terjadi secara fisisorpsi (Ilim *et al.*, 2017; Ilim, 2017; Hassannejad *and* Nouri, 2018). Nilai ΔH_{ads} dapat diketahui dengan plot van't Hoff membentuk kurva antara $1/T$ versus $\ln K_{ads}$. Nilai $\ln K_{ads}$ didapatkan dari Persamaan 6 (Zhou *and* Zhou, 2014).

$$\ln K_{ads} = \ln (K \times M_{adsorbate} \times 10^3 \times 55,5) \quad (6)$$

Nilai K diperoleh dari nilai intersep hasil plot menggunakan model isothermal adsorpsi, dalam hal ini model isothermal adsorpsi yang digunakan adalah model Temkin, Langmuir, Frumkin dan Flory-Huggins. $M_{adsorbate}$ merupakan berat molekul senyawa yang terkait dan 55,5 suatu konsentrasi air di dalam larutan.

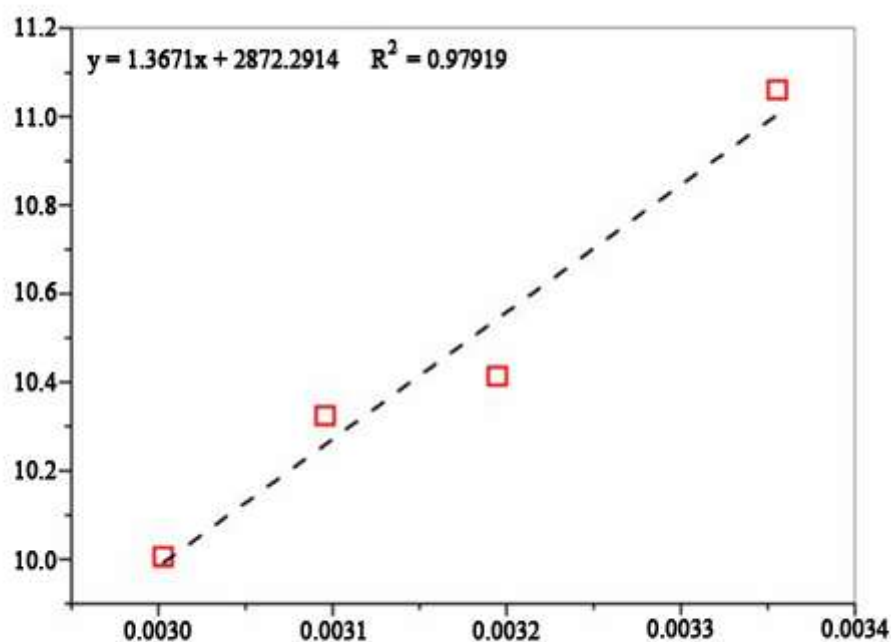
Setelah didapatkan nilai $\ln K_{\text{ads}}$ maka dapat dihubungkan terhadap plot van't Hoff dan dapat dilihat hubungannya pada Persamaan 7.

$$\ln K = -\frac{\Delta H_{\text{ads}}}{R} \frac{1}{T} + \frac{\Delta S_{\text{ads}}}{R} \quad (7)$$

Dari Persamaan 7 akan didapatkan nilai ΔH_{ads} dari nilai slope plot van't Hoff dan diekspresikan ke dalam Persamaan 8.

$$\text{slope} = \frac{\Delta H_{\text{ads}}}{R} \quad (8)$$

Untuk R merupakan tetapan gas ideal ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan ΔH_{ads} adalah perubahan entalpi adsorpsi (J mol^{-1}). Salah satu contoh kurva van't Hoff dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Plot Van't Hoff (Hassannejad *and* Nouri, 2018).

Faktor termodinamika yang kedua adalah energi bebas Gibbs (ΔG) merupakan suatu ukuran energi yang tersedia dalam sistem untuk melakukan suatu kerja. Jika energi bebas Gibbs bernilai negatif maka reaksi berlangsung spontan,

sedangkan jika bernilai positif maka reaksi berlangsung tidak spontan, serta nilai energi bebas Gibbs akan mengalami kesetimbangan ketika tidak ada energi yang tersedia atau $\Delta G = 0$. Perubahan energi bebas Gibbs pada proses penyerapan disebut perubahan energi bebas Gibbs adsorpsi (ΔG_{ads}). Perubahan energi bebas Gibbs adsorpsi (ΔG_{ads}) dapat dinyatakan pada Persamaan 9.

$$\Delta G_{\text{ads}} = -R T \ln K_{\text{ads}} \quad (9)$$

Perubahan energi bebas Gibbs adsorpsi (ΔG_{ads}) juga dapat menentukan proses adsorpsi terjadi secara fisika atau kimia berdasarkan rentang nilai yang didapatkan. Sebagaimana yang telah disampaikan oleh penelitian sebelumnya Ilim *et al.* (2017) bahwa nilai ΔG_{ads} telah ditunjukkan berada pada sekitar -38 kJ mol^{-1} ke atas dapat dikatakan reaksi berlangsung spontan dan kemisorpsi. Beberapa penelitian lainnya juga menunjukkan jika adsorpsi terjadi secara fisika ketika nilai $\Delta G_{\text{ads}} \leq -20 \text{ kJ mol}^{-1}$, adsorpsi secara kimia terjadi ketika $\Delta G_{\text{ads}} \geq -40 \text{ kJ mol}^{-1}$ dan jika bernilai di antara $-20 \text{ kJ mol}^{-1} \geq \Delta G_{\text{ads}} \geq -40 \text{ kJ mol}^{-1}$ maka adsorpsi terjadi secara keduanya (Tang *et al.*, 2003; Larabi *et al.*, 2004; Arslan *et al.*, 2009; Ituen *et al.*, 2017).

Faktor termodinamika yang ketiga yaitu perubahan entropi (ΔS), merupakan ukuran dari derajat ketidakteraturan suatu sistem. Perubahan entropi (ΔS) yang terjadi pada proses adsorpsi disebut perubahan entropi adsorpsi (ΔS_{ads}). Jika ΔS_{ads} bernilai semakin positif menunjukkan bahwa ketidakteraturan semakin meningkat, sedangkan jika bernilai semakin negatif maka ketidakteraturannya menurun. Untuk mendapatkan nilai ΔS_{ads} digunakan Persamaan 11 yang dikonversikan dari Persamaan 10.

$$\Delta G_{\text{ads}} = \Delta H_{\text{ads}} - T \Delta S_{\text{ads}} \quad (10)$$

$$\Delta S_{\text{ads}} = (\Delta H_{\text{ads}} - \Delta G_{\text{ads}})/T \quad (11)$$

J. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning electron microscopy (SEM) adalah salah satu instrumen paling serbaguna yang tersedia untuk pemeriksaan dan analisis morfologi mikrostruktur. Penting untuk mengetahui prinsip-prinsip dasar optik cahaya untuk memahami dasar-dasar mikroskop elektron (Mohammed *and* Abdullah, 2018). SEM adalah mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron terfokus yang bereaksi dengan sampel untuk menghasilkan citra topologi dan komposisi relatif. Setelah kontak dengan sampel, berkas elektron terfokus akan menghasilkan elektron sekunder (SE), elektron hamburan balik dan sinar-X karakteristik, yang kemudian dideteksi dengan masing-masing detektor dan akhirnya ditampilkan di monitor (Mutalib *et al.*, 2017).

Komponen utama dalam SEM yang khas termasuk sumber elektron, kolom yang berisi lensa elektromagnetik, elektron detektor, ruang sampel dan display komputer. Menurut Kahyarian *et al.* (2017), pembentukan citra SEM yaitu berdeteminasi dengan deteksi sinyal yang diterima dari interaksi antara sinyal elektron dengan sampel yang dipindai. Umumnya ada dua jenis interaksi yang dapat terjadi yaitu interaksi elastis dan interaksi inelastis. Dalam interaksi inelastis, SE berenergi rendah dipancarkan dari sampel setelah dibombardir oleh elektron berkas primer (transfer energi ke atom dalam sampel). Sedangkan menurut Mutalib *et al.* (2017), interaksi elastik disebabkan oleh defleksi elektron primer pada kontak dengan sampel inti atom atau elektron dengan energi yang sebanding. Defleksi elektron yang tersebar berada pada sudut lebih dari 90 derajat disebut kembali elektron tersebar dan dapat digunakan untuk pencitraan sampel.

Korosi yang terbentuk di permukaan logam dapat mempengaruhi kinerja baja dalam penggunaannya, untuk itu perlu dilakukan karakteristik lebih lanjut untuk mengetahui permukaan baja setelah terkorosi atau terbentuknya produk korosi di permukaan baja. Karakterisasi yang digunakan biasanya berupa *scanning electron microscopy* (SEM). Pada penelitian ini digunakan SEM sebagai karakterisasi pada permukaan baja lunak yang telah terbentuk produk korosi

berupa baja dengan perlakuan tanpa inhibitor, baja dengan inhibitor serta baja tanpa perlakuan.

III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2020 sampai dengan bulan November 2020 di Laboratorium Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Fraksinasi senyawa oligomer 4-vinilpiridin dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Uji elektrokimia dilakukan di Laboratorium Korosi Jl Sanggar Kencana Utama, Jatisari, Kota Bandung, Jawa Barat. Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDS) dilakukan 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, alat fraksinasi kolom, *rotary evaporator*, SEM merk ZEISS, alat elektrokimia voltalab PGZ 301, elektroda kerja (baja lunak), elektroda standar (Ag/AgCl) dan elektroda pembantu (Platina).

Bahan-bahan yang digunakan adalah; oligomer 4-vinilpiridin, fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin, metanol, NaCl, NaHCO₃, akuades, gas CO₂, *Sephadex* LH-20, kertas amplas grade 360, 400, 600, 800, 1000 dan 1200 serta baja lunak.

C. Prosedur Penelitian

1. Persiapan larutan

a. Larutan NaCl 3%

Medium korosif yang digunakan adalah larutan NaCl 3% yang disiapkan dengan melarutkan NaCl sebanyak 30 g dan NaHCO₃ 0,1 g ke dalam labu ukur 1000 mL, selanjutnya ditambahkan akuades hingga tanda tera dan dihomogenkan.

Perhitungan dapat dilihat pada Lampiran I (a).

b. Larutan Induk Inhibitor 10000 mg L⁻¹

Larutan induk inhibitor 10000 mg L⁻¹ dibuat dengan cara melarutkan 0,5 gram fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin dengan metanol PA kedalam labu ukur 50 mL, sehingga diperoleh larutan induk inhibitor 10000 mg L⁻¹. Perhitungan dapat dilihat pada Lampiran I (b).

2. Sintesis Oligomer 4-Vinilpiridin

Sintesis dilakukan berdasarkan metoda (Ilim, 2017). Bahan yang digunakan yaitu; 4-vinilpiridin (50 g; 0,48 mol) sebagai monomer, metanol (125 mL) dan akuades (125 mL) sebagai pelarut serta H₂O₂ (37,40 mL; 0,25 mol) sebagai inisiator, dicampur dan direfluks selama 10 jam. Pelarut dihilangkan dengan menggunakan *rotary evaporator*. Hasil sintesis merujuk yang telah dilakukan oleh (Ilim *et al.*, 2021) dan hasil sintesis yang diperoleh berupa larutan kental berwarna kemerahan.

3. Fraksinasi Senyawa Oligomer 4-vinilpiridin

Cara perlakuan fraksinasi mengikuti prosedur yang dilakukan oleh (Ilim, 2017). Senyawa oligomer 4-vinilpiridin hasil sintesis di fraksinasi menggunakan *Sephadex* LH-20 untuk memisahkan senyawa berdasarkan berat molekulnya dengan pelarut metanol. Fraksinasi dilakukan dengan cara memasukkan *Sephadex* LH-20 ke dalam kolom diameter 2 cm, ditambahkan pelarut metanol sampai rata pada permukaan *Sephadex* LH-20.

Sampel oligomer 4-vinilpiridin sebanyak 0,5 gram dipipetkan pada sekeliling dinding kolom dan metanol ditambahkan sedikit demi sedikit sampai semua sampel berada merata di atas permukaan *Sephadex* LH-20. Sampel diturunkan sampai di bawah permukaan *Sephadex* LH-20 dengan cara membuka kran kolom, setelah itu metanol ditambahkan sampai kolom penuh. Fraksinasi dimulai dengan membuka kran kolom dan menampung 90 mL sampel (Fraksi 0), fraksi berikutnya (Fraksi 1, 2, 3, 4 dan 5) ditampung masing-masing 15 mL. Semua sampel hasil fraksinasi dihilangkan pelarutnya dengan menggunakan *rotary evaporator* sampai sampel bebas pelarut. Masing-masing fraksi dibuat larutan stok dengan konsentrasi 10000 mg L^{-1} yang akan digunakan dalam pengujian aktivitasnya sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium larutan NaCl 3% yang jenuh CO_2 pada suhu dan konsentrasi yang bervariasi.

4. Uji Aktivitas Sebagai Inhibitor Korosi

Penentuan laju korosi dengan metoda elektrokimia membutuhkan 3 elektroda yaitu; elektroda uji (*working* atau *test electrode*), elektroda pembanding (*reference electrode*), dan elektroda bantu (*auxiliary* atau *counter electrode*). Elektroda uji yang digunakan untuk semua pengukuran adalah baja lunak berbentuk bundar (SAE/AISI Grade 1022 sesuai dengan AS 1443). Analisis spektrografik menunjukkan komposisi kimia baja lunak seperti terdapat dalam Tabel 1 (Ilim, 2017).

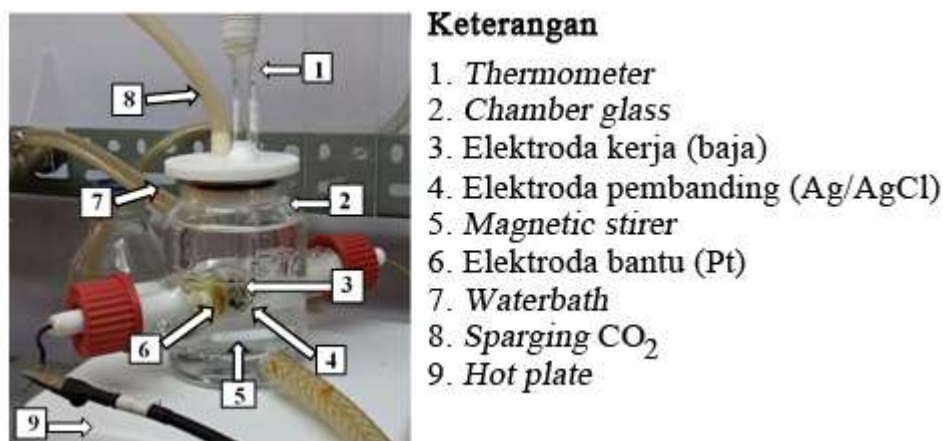
Tabel 1. Komposisi kimia baja lunak (Ilim, 2017).

Fe	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
98,8	0,22	0,74	0,02	0,014	0,02	0,05	0,04	<0,01	<0,01	<0,01

Elektroda uji dengan luas permukaan $1,13 \text{ cm}^2$ serta *referensi electrode* yang digunakan adalah *double junction Ag/AgCl electrode* dengan larutan KCl 3 M, dan elektroda bantu yang digunakan adalah Platina berbentuk silinder dengan luas yang sama pada elektroda kerja.

- Persiapan Alat Gelas dan Elektroda

Sebelum digunakan semua alat-alat gelas dibersihkan dengan akuades, HCl, *deionized water*, dan kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 600°C. Pembersihan alat-alat gelas ini bertujuan untuk memastikan tidak adanya kontaminan. Secara garis besar alat Voltalab ditunjukkan dalam Gambar 8



Gambar 8. Susunan alat elektrokimia Voltalab.

Elektroda kerja yang mempunyai luas 1,13 cm² disiapkan dengan mengamplas permukaan menggunakan kertas amplas berukuran mulai dari grade 360, 400, 600, 800, 1000 dan 1200. Etanol digunakan untuk pelumas selama proses pengamplasan.

- Pengukuran Elektrokimia

Pada penelitian ini larutan korosif yang digunakan sebagai blanko yaitu NaCl 3% jenuh CO₂. *Chamber glass* yang digunakan diisi dengan medium korosif sebanyak 125 mL yang selanjutnya rangkaian di *setting* seperti pada Gambar 8. Rangkaian disambungkan dengan instrumen voltalab dan *waterbath* dihidupkan, selanjutnya suhu diatur 30°C. *Sparging* gas CO₂ diaktifkan sampai medium korosif jenuh sekitar ± 45 menit, selanjutnya pengukuran laju korosi dengan metode EIS dapat dilakukan. Susunan sel EIS dilakukan menggunakan voltalab. Data impedansi didapatkan menggunakan voltase AC (10 mV) dan rentang frekuensi 10⁵-10⁻² Hz. Pengukuran laju korosi metode EIS dilakukan dengan suhu

bervariasi 30, 50 dan 70⁰C serta konsentrasi bervariasi pada masing- masing suhu yaitu 25, 50, 100 dan 150 mg L⁻¹.

5. Penentuan Parameter Termodinamika

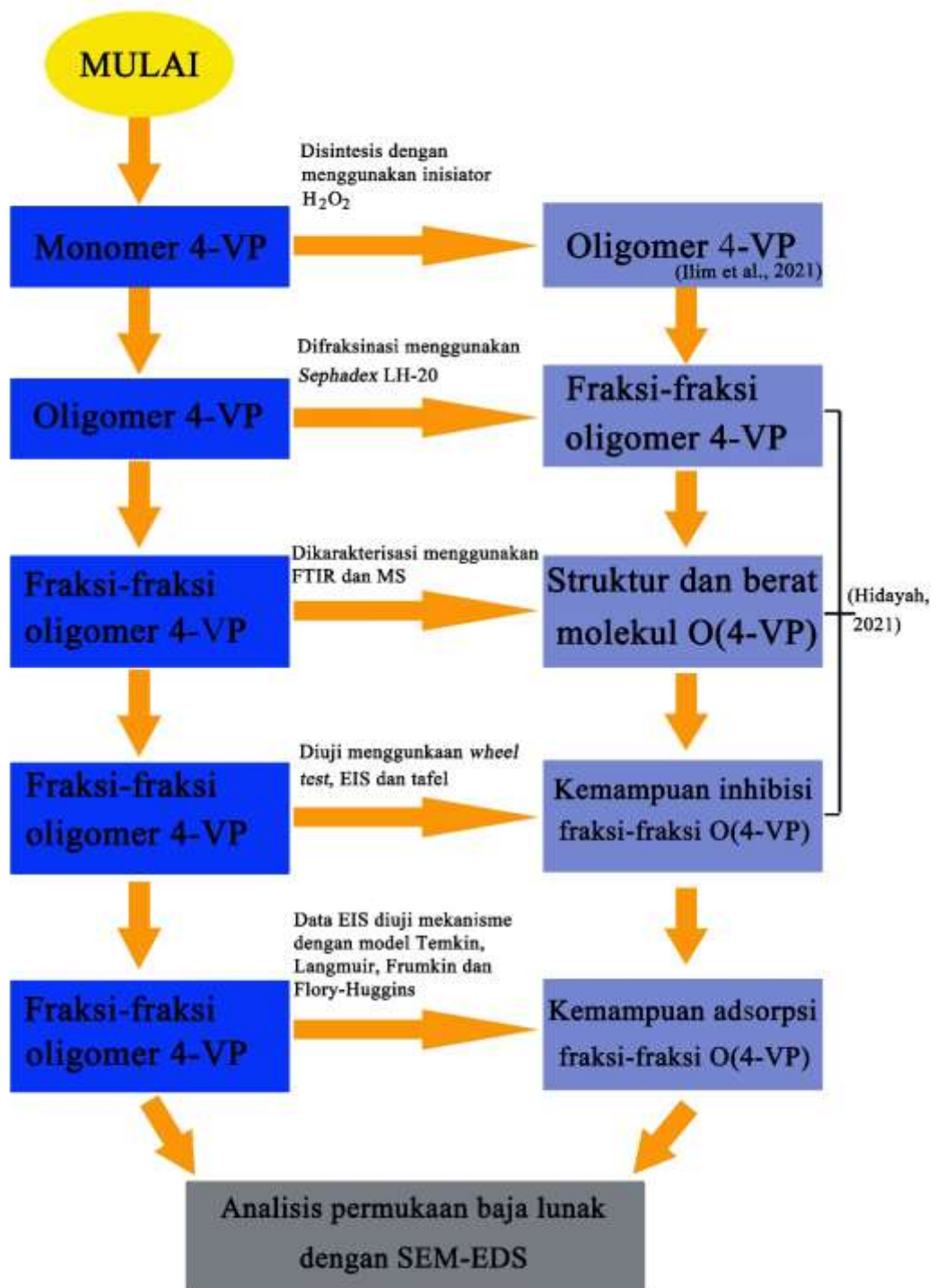
Kemampuan proteksi dari inhibitor dalam menghambat laju korosi dapat dilakukan dengan menghitung persen proteksi inhibitor menggunakan Persamaan 12 untuk metoda EIS.

$$\%P = \frac{(R_{cti} - R_{ct0})}{R_{cti}} \times 100\% \quad (12)$$

Data persen (%) inhibisi yang didapatkan dari metode EIS akan diubah menjadi nilai θ ($\theta = \%P/100$) yang selanjutnya akan digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi menggunakan 4 model mekanisme yaitu; model Langmuir, Temkin, Frumkin dan Flory-Huggins. Nilai-nilai termodinamika selanjutnya dihitung menggunakan Persamaan 6, 7, 8, 9 dan 11.

6. Analisis Permukaan

SEM-EDS banyak digunakan untuk menganalisis permukaan sampel logam. Dalam penelitian ini SEM digunakan untuk melihat produk korosi dan morfologi dari permukaan baja lunak yang sudah diberikan perlakuan dalam larutan NaCl 3% yang jenuh CO₂ baik mengandung/tanpa inhibitor, sedangkan EDS digunakan untuk melihat komposisi kimia yang terkandung di dalam baja. Berikut diagram alir penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir penelitian.

V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil fraksinasi diperoleh 5 fraksi dan hasil karakterisasi oligomer 4-vinilpiridin menggunakan MS memiliki berat molekul 100-900 m/z. Uji korosi fraksi-fraksi dengan metode EIS menunjukkan bahwa inhibitor korosi oligomer 4-vinilpiridin untuk Fraksi 1, 2, 3 dan 5 dapat memproteksi baja lunak dalam medium korosif yang jenuh CO₂ secara efektif pada konsentrasi yang paling besar (150 mg L⁻¹) dan suhu yang paling tinggi (70⁰C), sedangkan Fraksi 4 paling efektif pada konsentrasi yang paling besar (150 mg L⁻¹) dan pada suhu yang paling kecil (30⁰C).
2. Mekanisme adsorpsi yang telah digunakan menunjukkan bahwa dari keempat model isothermal adsorpsi yaitu Temkin, Langmuir, Frumkin dan Flory-Huggins yang menunjukkan kecocokan paling baik untuk semua data pada penelitian ini adalah model adsorpsi isothermal Langmuir, hal ini ditunjukkan dengan nilai R² yang dihasilkan pada plot Langmuir yaitu berkisar dari 0,8 sampai 1 yang mengartikan bahwa sumbu-X terhadap sumbu-Y semakin kuat dan kemungkinan *error* yang dihasilkan semakin kecil. Fraksi 1 dan 2 menunjukkan semakin besar suhu maka persen proteksi yang dihasilkan semakin baik dan semakin besar pula nilai R² yang dihasilkan, serta adsorpsi menjadi lebih efektif pada permukaan baja lunak.

3. Dari segi termodinamika model Langmuir menunjukkan bahwa untuk nilai ΔH_{ads} semua fraksi bertanda positif sehingga adsorpsi dapat dikatakan berlangsung secara kemisorpsi dan endotermik.
4. Nilai ΔG_{ads} yang dihasilkan, pada Fraksi 1 dan Fraksi 2 adsorpsi terjadi secara keduanya untuk suhu 30 dan 50⁰C, sedangkan suhu 70⁰C secara kimia, untuk Fraksi 3 terjadi secara kimia karena memiliki rentang $\geq -40 \text{ kJ mol}^{-1}$, untuk Fraksi 4 dan Fraksi 5 adsorpsi terjadi secara keduanya karena bernilai di rentang $-20 \text{ kJ mol}^{-1} \geq \Delta G_{\text{ads}} \leq -40 \text{ kJ mol}^{-1}$.
5. Nilai ΔS_{ads} keseluruhannya bernilai positif, serta pada suhu paling tinggi (70⁰C) menunjukkan adsorpsi paling baik karena mengalami penurunan entropi.

B. Saran

Pada penelitian ini tidak dilakukan uji MS untuk fraksi-fraksi oligomer 4-vinilpiridin akibat adanya pandemi, sehingga menggunakan data MS senyawa induk oligomer 4-vinilpiridin hasil sintesis pada penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengukur dengan menggunakan MS agar dapat diketahui dengan pasti unit-unit yang dimiliki dari masing-masing fraksi, serta untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan persamaan model Langmuir untuk menentukan mekanisme adsorpsi sebagai inhibitor korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Z. U., Yao, L., Wang, J., Gang, D. D., Lian, Q., and Zappi, M. E. 2018. Neodymium Embedded Ordered Mesoporous Carbon (OMC) for Enhanced Adsorption of Sunset Yellow: Characterizations, Adsorption Study and Adsorption Mechanism. *Chemical Engineering Journal*, 18, 1385-8947.
- Al-shihry, S. S., Sayed, A. R., and El-lateef, H. M. A. 2020. Design and Assessment of a Novel Poly (urethane-semicarbazones) Containing Thiadiazoles on the Backbone of the Polymers as Inhibitors for Steel Pipelines Corrosion in CO₂ Saturated Oil Field Water. *Journal of Molecular Structure*, 1201, 127223.
- Alaba, O., Johnson, O., and Leke, E. 2020. Thermodynamics and Adsorption Study of the Corrosion Inhibition of Mild Steel by Euphorbia Heterophylla L. Extract in 1,5 M HCl. *Results in Materials*, 5(January), 100074.
- Aprilliani, N., dan Suka, E. G. 2017. Efektivitas Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa Bilimbi L.) Sebagai Inhibitor Pada Baja St37 Dalam Medium Korosif NaCl 3 %, *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 5 (2), 161–172.
- Arenas-Piedrahita, J. C., Montes-García, P., Mendoza-Rangel, J. M., and Calvo, H. Z. L. 2016. Mechanical and Durability Properties of Mortars Prepared with Untreated Sugarcane Bagasse Ash and Untreated Fly Ash. *Construction and Building Materials*, 105, 69–81.
- Arslan, T., Kandemirli, F., Ebenso, E. E., Love, I., and Alemu, H. 2009. Quantum Chemical Studies On the Corrosion Inhibition of Some Sulphonamides On Mild Steel in Acidic Medium. *Corrosion Science*, 51 (1), 35–47.
- Astuti, C. C. 2017. Original Research Article Analisis Korelasi untuk Mengetahui Keeratan Hubungan antara Keaktifan Mahasiswa dengan Hasil Belajar Akhir. *Journal of Information and Computer Technology Education*, 1(April), 1–7.
- Chen, S., Singh, A., Wang, Y., Liu, W., Deng, K., and Lin, Y. 2017. Inhibition effect of Ilex Kudingcha C. J. Tseng (Kudingcha) Extract on J55 Steel in 3,5wt% NaCl Solution Saturated with CO₂. *Electrochemical Science*, 12,

782–796.

- Ciucci, F. 2018. Modeling Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Current Opinion in Electrochemistry*, 18, 2451-9103.
- Driouch, M. B. M., Hammouti, M. S. B., and Touhami, M. E. 2018. Kinetic–Thermodynamic Properties of a Polyacrylamide on Corrosion Inhibition for C-Steel in 1,0 M HCl Medium : Part 2. *Journal of Bio and Tribo-Corrosion*, 4 (34), 1-13.
- El-Lateef, H. M. A., Abbasov, V. M., Aliyeva, L. I., and Khalaf, M. 2015. Novel Naphthenate Surfactants Based on Petroleum Acids and Nitrogenous Bases as Corrosion Inhibitors for C1018-type Mild Steel in CO₂ Saturated Brine. *Egyptian Journal of Petroleum*, 24 (2), 175–182.
- Estiaty, L. M. 2013. Keseimbangan dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu²⁺ pada Zeolit-H. *Geotechnology Research*, 2 (2), 127–141.
- Ferreira, K. C. R., Cordeiro, R. F. B., Nunes, J. C., Orofino, H., Magalhães, M., Torres, A. G., and Elia, E. D. 2016. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl Solution by Aqueous Brown Onion Peel Extract. *Electrochemical Science*, 11, 406–418.
- Gibney, G. T., Weiner, L. M., and Atkins, M. B. 2016. Predictive Biomarkers for Checkpoint Inhibitor-based Immunotherapy. *Lancet Oncology*, 17(12), e542–e551.
- Gloc, M., Wachowski, M., Plocinski, T., and Jan, K. 2016. Microstructural and Microanalysis Investigations of Bond Titanium Grade 1/Low Alloy Steel st52-3N Obtained by Explosive Welding. *Journal of Alloys and Compounds*, 671, 446–451.
- Hameed, R. S. A., Abdallah, M., Rehim, S. S. A. El, Alshafey, H. I., and Edin, S. N. 2017. Polyoxyethylene Stearate of Molecular Weight 6000 as Corrosion Inhibitor For Mild Steel in 2,0 M Sulphuric Acid. *International Journal Corrosion Scale Inhibition*, (2), 196–208.
- Hassannejad, H., and Nouri, A. 2018. Sunflower Seed Hull Extract as a Novel Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in HCl Solution. *Journal of Molecular Liquids*, 254, 377–382.
- Hidayah, L. 2021. Fraksinasi dan uji aktivitas oligomer 4-vinilpiridin sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium korosif NaCl 3% yang jenuh karbon dioksida. (Skripsi). Universitas Lampung.
- Hu, F., Zhang, W., Tang, J., Xie, J., Tang, J., Mao, J., and Wang, H. 2018. Synergistic Effects Between Gemini Inhibitor and Thiourea / Thiazole / Pyridine as Corrosion Inhibitors on N80 Steel in Brine Solution with

Saturated CO₂. *Electrochemical Science*, 13, 9803–9815.

- Ibrahim, T., Gomes, E., Obot, I. B., Khamis, M., and Abou, M. 2016. Corrosion Inhibition of Mild Steel by Calotropis Procera Leaves Extract in a CO₂ Saturated Sodium Chloride Solution. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 4243(May).
- Ilim. 2017. Oligomer 4-Vinilpiridin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Larutan NaCl 3% Jenuh dengan Karbon Dioksida. (Disertasi). Institut Teknologi Bandung.
- Ilim, I., Bahri, S., Simanjuntak, W., Syah, Y. M., Bundjali, B., and Buchari, B. 2017. Performance of Oligomer 4-vinylpiperidine as a Carbon Dioxide Corrosion Inhibitor of Mild Steel. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8 (7), 2381–2390.
- Ilim, I., Fitriani, R., Prabowo, T., and Bahri, S. 2021. Molecular Weight Distribution and Corrosion Inhibitor Activity of 4-vinylpyridine Oligomer Synthesized Using Low Concentration Hydrogen Peroxide As the Initiator. *International Journal Corrosion Scale Inhibition*, (1), 284–301.
- Ilim, Jefferson, A., Simanjuntak, W., Jeannin, M., Syah, Y. M., and Bundjali, B. 2016. Synthesis and Characterization of Oligomer 4-vinylpyridine as a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in CO₂ Saturated Brine Solution. *Indones Journal Chemistry*, 16 (2), 198–207.
- Ituen, E., Akaranta, O., and James, A. O. 2017. Evaluation of Performance of Corrosion Inhibitors Using Adsorption Isotherm Models : An Overview. *Chemical Science International Journal*, 18 (1), 1-34.
- Javadian, S., Darbasizadeh, B., Yousefi, A., Ektefa, F., and Dalir, N. 2016. Dye-surfactant Aggregates As Corrosion Inhibitor for Mild Steel in NaCl Medium : Experimental and Theoretical Studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 1–11.
- Kahyarian, A., Achour, M., and Nestic, S. 2017. CO₂ Corrosion of Mild Steel. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*. Elsevier Ltd.
- Kahyarian, A., Brown, B., and Ne, S. 2018. Technical Note : Electrochemistry of CO₂ Corrosion of Mild Steel : Effect of CO₂ on Cathodic Currents. *Corrosion Science*, 74 (8), 851–859.
- Kahyarian, A., Nestic, S., and Soc, J. E. 2019. A New Narrative for CO₂ Corrosion of Mild Steel. *Journal of the Electrochemical Society*, 166 (11), C3048-C3063.
- Kruzhilin, A. A., Potapov, A. Y., Zartsyn, I. D., and Prabhakar, C. 2021. New Copper Corrosion Inhibitors in Chloride Environments Based on Benzo-

- [1,2,4]-triazolo-[1,2]-triazinone. *International Journal Corrosion Scale Inhibition*, 10 (1), 228–244.
- Larabi, L., Harek, Y., Traisnel, M., and Mansri, A. 2004. Synergistic Influence of Poly (4-vinylpyridine) and Potassium Iodide on Inhibition of Corrosion of Mild Steel in 1 M HCl. *Journal Of Applied Electrochemistry*, 34, 833–839.
- Luo, S., Zheng, L., Luo, H., and Luo, C. 2019. Applied Surface Science a Ceramic Coating on Carbon Steel and its Superhydrophobicity. *Applied Surface Science*, 486, 371–375.
- Mansoori, H., Mirzaee, R., Esmailzadeh, F., and Vojood, A. 2017. Pitting Corrosion Failure Analysis of a Wet Gas Pipeline. *Engineering Failure Analysis*, 82, 16–25.
- Mohammed, A., and Abdullah, A. 2018. Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. *Journal of International Conference*, 79, 1–9.
- Motte, R. A. De, Barker, R., Burkle, D., Vargas, S. M., and Neville, A. 2018. The Early Stages of FeCO₃ Scale Formation Kinetics in CO₂ Corrosion. *Materials Chemistry and Physics*, 18, 254-584.
- Mutalib, M. A., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., and Jaafar, J. 2017. *Chapter 9 - Scanning Electron Microscopy and Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy*. Membrane Characterization. Malaysia.
- Obike, A. I., Okafor, P. C., Uwakwe, K. J., Jiang, X., and Qu, D. 2018. The Inhibition of CO₂ Corrosion of L360 Mild Steel in 3,5% NaCl Solution by Imidazoline Derivatives. *International Journal Corrosion Scale Inhibition*, (3), 318–330.
- Oleynik, S. V, Rudnev, V. S., Kuzenkov, Y. A., Jarovaja, T. P., Trubetskaja, L. F., and Nedorozov, P. M. 2017. Protective Properties of PEO Coatings Modified by Corrosion Inhibitors on Aluminum Alloys. *International Journal Corrosion Scale Inhibition*, (2), 91–111.
- Onyeachu, I. B., Quraishi, M. A., Obot, I. B., and Haque, J. 2019. Newly Synthesized Pyrimidine Compound as CO₂ Corrosion Inhibitor for Steel in Highly Aggressive Simulated Oilfield Brine. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1–22.
- Pajkossy, T., and Jurczakowski, R. 2017. Electrochemical Impedance Spectroscopy in Interfacial. *Journal of Electrochemistry*, 1–6.
- Qian, S., and Cheng, Y. F. 2019. Synergism of Imidazoline and Sodium Dodecylbenzenesulfonate Inhibitors on Corrosion Inhibition of X52 Carbon Steel in CO₂ Saturated Chloride Solutions. *Journal of Molecular Liquids*, 294, 111674.

- Ramezanzadeh, M., Bahlakeh, G., and Ramezanzadeh, B. 2019. Adsorption Mechanism and Synergistic Corrosion Inhibiting Effect between the Green Nettle Leaves Extract and Zn^{2+} Cations on Carbon Steel. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 77, 323–343.
- Reyes-Dorantes, E., Zuniga-Diaz, J., Quinto-Hernandez, A., Porcayo-Calderon, J., Gonzalez-Rodriguez, J. G., and Martinez-Gomez, L. 2017. Fatty Amides from Crude Rice Bran Oil as Green Corrosion Inhibitors. *Journal of Chemistry*, 18,1-14.
- Ribeiro, D. V, and Abrantes, J. C. C. 2016. Application of Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) to Monitor the Corrosion of Reinforced Concrete. *Journal of Construction and Building Materials*, 111, 98–104.
- Roberge, P. R. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- Saadi, A. A. Al, Charles, O., and Hamouz, S. Al. 2019. Inhibition of Mild Steel Corrosion in CO_2 and H_2S Saturated Acidic Media by a New Polyurea Based Material. *Journal of Material and Corrosion*, 1-17.
- Singer, M., and Ne, S. 2015. Electrochemistry of Carbon Dioxide Corrosion Mitigation Using Tall Oil Diethylenetriamine Imidazoline as Corrosion Inhibitor for Mild Steel. *Journal of Materials and Corrosion*, 1–13.
- Sudiarti, T. 2017. Adsorpsi Senyawa 2,3-difenil-imidazo[1,2-A]piridin Sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon dalam Larutan Elektrolit Jenuh Karbon Dioksida. *Jurnal Riset Kimia*,10 (2), 182–196.
- Susilowati, S. E., dan Sumardiyanto, D. 2018. Penerapan Marine Growth Prevention System (MGPS) pada Pengoperasian Kapal untuk Menghambat Laju Korosi. *Jurnal Teknologi*, 10 (2), 1-8.
- Tang, L., Mu, G., and Liu, G. 2003. The Effect of Neutral Red on the Corrosion Inhibition of Cold Rolled Steel in 1,0 M Hydrochloric Acid. *Corrosion Science*, 45, 2251–2262.
- Tatiana, A., and Elaine, M. C. 2017. New Insights on the Role of CO_2 in the Mechanism of Carbon Steel Corrosion. *Evaluation and Program Planning*, 10 (16), 4-12.
- Tolulope, R., Akintoye, C., Joseph, O., and Olanrewaju, G. 2016. Results in Physics Adsorption and Corrosion Inhibition Properties of Thiocarbanilide on the Electrochemical Behavior of High Carbon Steel in Dilute Acid Solutions. *Results in Physics*, 6, 305–314.
- Vidal, C. B., Raulino, G. S. C., Barros, A. L., Lima, A. C. A., Ribeiro, J. P., Pires, M. J. R., and Nascimento, R. F. 2012. BTEX Removal from Aqueous

- Solutions by HDTMA Modified Y-Zeolite. *Journal of Environmental Management*, 112, 178–185.
- Wang, J., Lin, Y., Sun, Z., Luo, X., and Liu, W. 2019. Corydalis Yanhusuo Extract as a Green Inhibitor for J55 Steel in 3,5% NaCl Solution Saturated with CO₂. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 12 (3), 353-363.
- Wang, J., Meng, L., Fan, Z., Liu, Q., and Tong, Z. 2019. Mechanism and Modelling of CO₂ Corrosion on Downhole Tools. *Royal Society Open Science*, 1-12.
- Wei, L., Pang, X., and Gao, K. 2016. Corrosion of Low Alloy Steel and Stainless Steel in Supercritical CO₂/H₂O/H₂S Systems. *Evaluation and Program Planning*, 10 (16), 4-13.
- Wiston. 2000. *Uhlig's Corrosion Handbook Edition 2nd*. New York: John Willey and Sons. Inc.1091.
- Yanuar, A. P., Pratikno, H., dan Titah, H. S. 2016. Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan. *Jurnal Teknik ITS*, 5 (2), 8–13.
- Zhang, H., Pang, X., Zhou, M., Liu, C., Wei, L., and Gao, K. 2015. Applied Surface Science The Behavior of Pre-corrosion Effect on the Performance of Imidazoline Based Inhibitor in 3wt% NaCl Solution Saturated with CO₂. *Applied Surface Science*, 356, 63–72.
- Zhou, X., and Zhou, X. I. N. 2014. The Unit Problem in the Thermodynamic Calculation of Adsorption Using the Langmuir Equation. *Chemistry Engineering Community*, (22), 1459–1467.