

**PEMANFAATAN EKSTRAK LIGNIN DARI PELEPAH AREN (*Arenga pinnata*)  
SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM ASAM KLOORIDA**

**SKRIPSI SARJANA KIMIA**

Oleh

**NADIAH UMAIRAH**

**NIM: 1910412015**



**Pembimbing I : Prof. Dr. Emriadi, MS**

**Pembimbing II : Dr. Yeni Stiadi, MS**

**PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG  
2023**

**PEMANFAATAN EKSTRAK LIGNIN DARI PELEPAH AREN (*Arenga pinnata*)  
SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM ASAM KLORIDA**

**SKRIPSI SARJANA KIMIA**

**Oleh:**

**NADIAH UMAIRAH**

**NIM: 1910412015**



Skripsi ini diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
pada Program Sarjana Departemen Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Andalas

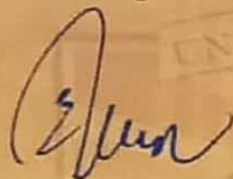
**PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

"Pemanfaatan Ekstrak Lignin dari Pelepah Aren (*Arenga pinnata*) sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium Asam Klorida" merupakan skripsi yang diajukan oleh Nadiah Umairah (NIM: 1910412015) sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (Strata-1) pada Program Studi Sarjana Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas, dan telah diuji pada tanggal 4 Juli 2023.

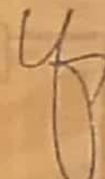
Disetujui oleh:

Pembimbing I



Prof. Dr. Emriadi, MS  
NIP.196204091987031003

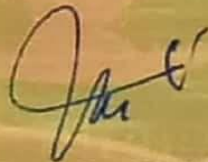
Pembimbing II



Dr. Yeni Stiadi, MS  
NIP.196310291989011001

Mengetahui:

Ketua Departemen Kimia

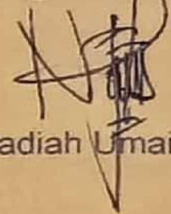


Prof. Dr. Mai Efdi, M.Si  
NIP.197205301999031003

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Padang, 4 Juli 2023



(Nadiah Umairah)



## HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Wahai orang-orang yang beriman! Apabila dikatakan kepadamu, "Berilah kelapangan di dalam majelis-majelis," maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan, "Berdirilah kamu," maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Dan Allah Maha teliti apa yang kamu kerjakan

(Q.S. Al-Mujadalah:11)

Rasa syukur tanpa henti, penulis ucapkan kepada Allah S.W.T Yang Maha Pengasih dan Penyayang. Serta salawat dan salam kepada Nabi Muhammad S.A.W. Empat tahun tanpa disadari berlalu dengan cepat, dan akhirnya sampailah penulis pada titik ini. Namun, penulis menyadari bahwa ini bukanlah akhir dari perjuangan, melainkan suatu awal dari perjuangan yang lebih menantang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mempersembahkan karya kecil ini dengan ketulusan dan keikhlasan hati kepada Bapak (Yunaldi), Ibu (Osmareni), Uda, Kakak, Adik serta keluarga yang tanpa henti telah memberikan semangat, doa, dan kasih sayangnya kepada penulis. Penulis menyadari bahwa apa yang diberikan tidak sebanding dengan apa yang telah Bapak, Ibu, Uda, Kakak, Adik, dan keluarga berikan selama ini. Semoga melalui karya ini menjadi langkah awal bagi penulis untuk bisa membuat mereka bangga.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Emriadi, MS dan Bapak Dr. Yeni Stiadi, MS yang telah meluangkan waktu, tenaga dan memberikan ilmu, motivasi, serta saran sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Semoga kebaikan yang telah Bapak berikan selama ini dikaruniai dengan keberkahan, kemudahan serta bernilai pahala disisi Allah S.W.T.

Terima kasih penulis sampaikan kepada sahabat dan teman-teman seperjuangan yang telah saling *support* dalam perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai

## INTISARI

### PEMANFAATAN EKSTRAK LIGNIN DARI PELEPAH AREN (*Arenga pinnata*) SEBAGAI INHIBITOR KOROSI BAJA LUNAK DALAM MEDIUM ASAM KLORIDA

Oleh:

Nadiah Umairah (BP: 1910412015)

Prof. Dr. Emriadi, M.S; Dr. Yeni Stiadi, MS

Lignin merupakan salah satu senyawa polimer yang terdapat pada dinding sel tanaman dan diketahui termasuk dalam sumber daya terbarukan yang melimpah di alam akan tetapi dari segi pemanfaatan masih terbatas. Potensi ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M diteliti menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*), karakterisasi *Fourier Transform Infrared* (FTIR), spektroskopi *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis), analisis mikroskop optik dan sudut kontak. Pada penelitian, laju korosi diselidiki dengan merendam baja dalam medium HCl 1M dengan penambahan ekstrak lignin 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 g/L pada variasi suhu 30, 40, 50 dan 60°C. Hasil penelitian menunjukkan laju korosi berbanding lurus dengan kenaikan suhu dan berbanding terbalik dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak lignin dalam medium HCl 1M. Efisiensi inhibisi korosi meningkat dengan meningkatnya suhu dan konsentrasi ekstrak lignin dalam medium HCl 1M. Efisiensi inhibisi maksimum diperoleh sebesar 89,54% pada suhu 60°C dengan penambahan 10 g/L ekstrak lignin. Adsorpsi ekstrak lignin pada permukaan logam mengikuti kaidah isoterm adsorpsi Langmuir. Ekstrak lignin dari pelepah aren akan berinteraksi dengan permukaan logam dan membentuk lapisan pelindung yang dapat menghambat terjadinya korosi. Parameter termodinamika seperti energi Gibbs ( $\Delta G$ ), energi aktivasi ( $E_a$ ), entropi ( $\Delta S$ ) dan entalpi ( $\Delta H$ ) dihitung untuk menentukan mekanisme inhibisi korosi dari ekstrak lignin di permukaan baja lunak. Analisis FTIR dan Spektrofotometri UV-Vis menunjukkan adanya interaksi antara ekstrak lignin dengan permukaan baja. Analisis mikroskop optik menunjukkan morfologi permukaan baja yang mengalami penurunan kerusakan dengan adanya ekstrak lignin. Analisis sudut kontak menunjukkan permukaan baja bersifat hidrofobik dengan adanya ekstrak lignin.

**Kata kunci:** *Arenga pinnata*, Lignin, Adsorpsi, Inhibitor Korosi, *Weight Loss*

## ABSTRACT

### UTILIZATION OF LIGNIN EXTRACT FROM SUGAR PALM (*Arenga pinnata*) AS CORROSION INHIBITOR OF MILD STEEL IN HYDROCHLORIC ACID MEDIUM

By:

Nadiah Umairah (BP: 1910412015)

Prof. Dr. Emriadi, M.S; Dr. Yeni Stiadi, MS

Lignin is one of the polymeric compounds found in plant cell walls and is known to be included in the abundant renewable resources in nature, but from a utilization point of view it is still limited. The potential of lignin extract from palm fronds (*Arenga pinnata*) as a corrosion inhibitor on mild steel in 1M HCl medium was investigated using the weight loss method, Fourier Transform Infrared (FTIR) characterization, Ultraviolet-Visible (UV-Vis) spectroscopy, analysis optical microscope and contact angle. In this study, the corrosion rate was investigated by immersing steel in 1M HCl medium with the addition of 0, 2, 4, 6, 8, and 10 g/L lignin extract and varying temperatures of 30, 40, 50 and 60°C. The results showed that the corrosion rate was directly proportional to the increase in temperature and inversely proportional to the increase in the concentration of lignin extract in 1M HCl medium. The efficiency of corrosion inhibition increased with increasing temperature and concentration of lignin extract in 1M HCl medium. The maximum inhibition efficiency was obtained at 89.54% at 60°C with the addition of 10 g/L lignin extract. The adsorption of lignin extract on metal surfaces follows the Langmuir isotherm adsorption rule. The lignin extract from the palm fronds will interact with the metal surface and form a protective layer that can inhibit corrosion. Thermodynamic parameters such as Gibbs energy ( $\Delta G$ ), activation energy ( $E_a$ ), entropy ( $\Delta S$ ) and enthalpy ( $\Delta H$ ) were calculated to determine the corrosion inhibition mechanism of lignin extract on the mild steel surface. FTIR analysis and UV-Vis spectrophotometry showed an interaction between the lignin extract and the steel surface. Optical microscopy analysis showed that the surface morphology of the steel experienced a decrease in damage in the presence of lignin extract. Contact angle analysis showed that the steel surface is hydrophobic in the presence of lignin extract.

**Keywords:** *Arenga pinnata*, Lignin, Adsorption, Corrosion Inhibitor, Weight Loss

## UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillahirabbilalamin, puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, nikmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Ekstrak Lignin dari Pelepah Aren (*Arenga pinnata*) sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Medium Asam Klorida”** sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi sarjana pada Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas. Pada penulisan skripsi ini penulis menyadari banyak melibatkan pihak yang telah berkontribusi dalam memberikan bantuan, masukan, dukungan dan bimbingan. Pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendukung, memotivasi dan mendoakan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.
2. Uda Riski Agusman, A.Md, Kakak Fauziah Latif, A.Md, dan Adik (Rangga Syaputra, M. Yusuf dan Hafizah Febriani) serta keluarga yang selalu memberikan dukungan, bantuan dan doa serta motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.
3. Bapak Prof. Dr. Emriadi, MS selaku dosen pembimbing I dan Bapak Dr. Yeni Stiadi, MS selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan ilmu, meluangkan waktu dan tenaga, membimbing, dan mengarahkan penulis dalam melaksanakan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Tio Putra Wendari, Ibu Dr. Imelda, Bapak Yulizar Yusuf, MS, dan Ibu Olly Norita Tetra, M.Si selaku dosen penguji yang telah berkenan untuk meluangkan waktu, memberikan saran, kritikan, dan arahan kepada penulis demi menyempurnakan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Matlal Fajri Alif selaku dosen penasihat akademik yang telah memberikan arahan, masukan dan bimbingan kepada penulis dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana.
6. Ibu Dr. rer. nat. Syafrizayanti selaku ketua Program Studi Sarjana Kimia.
7. Bapak Prof. Dr. Mai Efdi selaku ketua Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.
8. Bapak/Ibu dosen dan karyawan Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.



9. Sahabat Kekasih Rasulullah (Amelia Andriani, Aisyah Awaliyah, Dewi Novita Gusrina, Durrotul Hikmah, Fani Anjelina, Rahmi Arianto, dan Resti Oktaviani) yang telah membantu, menyemangati dan mendukung penulis selama perkuliahan.
10. Firmayanti selaku sahabat sekaligus *roommate* penulis selama masa perkuliahan yang telah membantu, mendengarkan keluh kesah penulis dan memberi masukan selama perkuliahan.
11. Hilda Sartika, Indah Rahmadani, Nailatul Zahra Pradwi, Nur Ainun, Scify Bilqis Nawavi Masyerli, dan Fauziah Wulandari, S.Si selaku sahabat seperjuangan yang telah membantu, menyemangati dan tempat berkeluh kesah penulis selama perkuliahan.
12. Aula Fatihatul Rizka, Shelly Triandini, Indriani Sahira, Melisa Hidayani, Melia Yudina Putri, dan Anisa Enjelita selaku sahabat yang telah memberi dukungan dan keceriaan kepada penulis selama perkuliahan.
13. Hilda Sartika, Nailatul Zahra Pradwi, Jessenia Rahma Khorengo, dan Fathul Rizky selaku sombing yang telah banyak membantu penulis selama penelitian dan meraih gelar sarjana.
14. Angga Syahputra selaku sobep penulis yang telah membantu dalam belajar, mendukung dan menyemangati penulis selama perkuliahan.
15. Keluarga Bp 15 yang telah memberi dukungan dan semangat kepada penulis selama perkuliahan.
16. Nada Nabilah Kusumawardani, Jenia Ramadhani, Rofi Apri Shania dan Adella Pimaesa selaku sahabat yang telah banyak membantu penulis selama perkuliahan.
17. Sahabat kelas B (Barbarclass) dan teman-teman seangkatan (H1DRO9EN) yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah kebersamai dan memberi keceriaan penulis selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini dari pembaca. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Padang, 4 Juli 2023

(Penulis)

## DAFTAR ISI

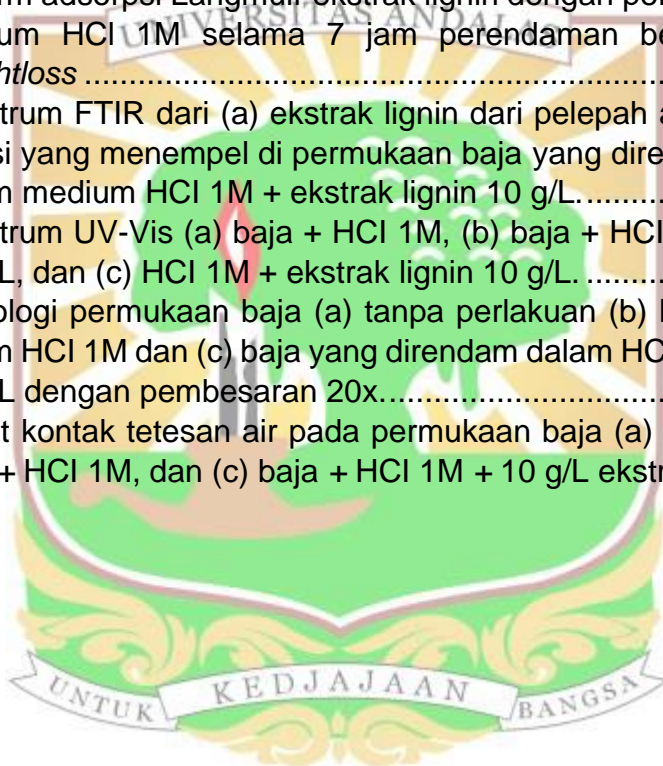
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
INTISARI.....	vi
ABSTRACT.....	vii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xv
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Baja.....	4
2.2 Korosi.....	4
2.3 Inhibitor Korosi.....	6
2.4 Tanaman Aren ( <i>Arenga pinnata</i> ).....	7
2.5 Lignin.....	7
2.6 Isoterm Adsorpsi.....	8
2.7 Metode Pengukuran.....	9
2.7.1 Metode kehilangan berat ( <i>Weight Loss</i> ).....	9
2.7.2 Derajat Penutupan ( $\Theta$ ).....	10
2.7.3 Energi Aktivasi ( $E_a$ ).....	10
2.7.4 Perubahan Entalpi ( $\Delta H$ ) dan Entropi ( $\Delta S$ ).....	10
2.8 Karakterisasi.....	11
2.8.1 Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	11
2.8.2 Analisis Spektrofotometer UV-Visible.....	11
2.8.3 Analisis Mikroskop Optik.....	11
2.8.4 Analisis Sudut Kontak.....	12
<b>BAB III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>13</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	13
3.2. Alat dan Bahan.....	13
3.2.1. Alat.....	13
3.2.2. Bahan.....	13
3.3. Prosedur Kerja.....	13
3.3.1. Persiapan spesimen baja.....	13
3.3.2. Proses ekstraksi lignin dari pelepah aren.....	13
3.3.3. Pembuatan medium korosif.....	14
3.3.4. Pembuatan larutan korosif dengan adanya ekstrak lignin.....	14
3.3.5. Penentuan laju korosi berdasarkan metode kehilangan berat.....	14
3.3.6. Pengukuran <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	15
3.3.7. Pengukuran spektrofotometri <i>Ultraviolet-Visible</i> (UV-Vis).....	15
3.3.8. Analisis mikroskop optik.....	15
3.3.9. Analisis sudut kontak.....	15
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>16</b>
4.1 Ekstraksi Lignin dari Pelepah Aren ( <i>Arenga pinnata</i> ).....	16
4.2 Analisis Laju Korosi Menggunakan Metode Kehilangan berat ( <i>Weight loss</i> ).....	16

4.2.1	Laju korosi baja lunak dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren dalam medium HCl 1M dengan variasi suhu selama 7 jam perendaman .....	17
4.2.2	Efisiensi inhibisi korosi dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren dalam medium HCl 1 M pada variasi suhu dengan 7 jam perendaman.....	17
4.3	Penentuan Energi Aktivasi ( $E_a$ ).....	18
4.4	Penentuan Entalpi ( $\Delta H^*$ ) Dan Entropi ( $\Delta S^*$ ) Aktivasi .....	19
4.5	Penentuan Isoterm Adsorpsi .....	20
4.6	Karakterisasi.....	22
4.6.1	Analisis FTIR .....	22
4.6.2	Analisis spektrofotometri UV-Vis.....	23
4.6.3	Analisis mikroskop optik .....	24
4.6.4	Analisis sudut kontak .....	25
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>26</b>
5.1	Kesimpulan.....	26
5.2	Saran.....	26
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>27</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>31</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Representatif korosi seragam dan korosi lokal pada logam <sup>16</sup> .....	5
Gambar 2.2	Pelepah aren ( <i>Arenga pinnata</i> ) .....	7
Gambar 2.3	Struktur prekursor lignin <sup>28</sup> .....	8
Gambar 4.1	Ekstrak lignin dari pelepah aren ( <i>Arenga pinnata</i> ) .....	16
Gambar 4.2	Pengaruh konsentrasi ekstrak lignin terhadap laju korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M pada berbagai variasi suhu selama 7 jam perendaman.....	17
Gambar 4.3	Pengaruh konsentrasi ekstrak lignin terhadap efisiensi inhibisi korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M pada berbagai variasi suhu selama 7 jam perendaman.....	18
Gambar 4.4	Plot Arrhenius terhadap korosi baja lunak dalam larutan HCl 1M dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren pada suhu yang berbeda.. ..	19
Gambar 4.5	Isoterm adsorpsi Langmuir ekstrak lignin dengan permukaan baja dalam medium HCl 1M selama 7 jam perendaman berdasarkan metode <i>weightloss</i> .....	21
Gambar 4.6	Spektrum FTIR dari (a) ekstrak lignin dari pelepah aren dan (b) produk korosi yang menempel di permukaan baja yang direndam selama 6 hari dalam medium HCl 1M + ekstrak lignin 10 g/L .....	23
Gambar 4.7	Spektrum UV-Vis (a) baja + HCl 1M, (b) baja + HCl 1M + ekstrak lignin 10 g/L, dan (c) HCl 1M + ekstrak lignin 10 g/L .....	24
Gambar 4.8	Morfologi permukaan baja (a) tanpa perlakuan (b) baja yang direndam dalam HCl 1M dan (c) baja yang direndam dalam HCl 1M + ekstrak lignin 10 g/L dengan pembesaran 20x.....	24
Gambar 4.9	Sudut kontak tetesan air pada permukaan baja (a) tanpa perlakuan (b) baja + HCl 1M, dan (c) baja + HCl 1M + 10 g/L ekstrak lignin. ....	25



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komponen lignoselulosa pada pelepah aren.....	7
Tabel 4.1	Nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) pada masing - masing konsentrasi ekstrak lignin dari pelepah aren.....	19
Tabel 4.2	Nilai entalpi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi ( $\Delta S^*$ ) aktivasi.....	20
Tabel 4.3	Parameter termodinamika untuk adsorpsi ekstrak lignin pada permukaan baja lunak dalam medium HCl 1M pada suhu yang berbeda berdasarkan isoterm Langmuir.....	22



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema kerja persiapan spesimen baja lunak.....	31
Lampiran 2. Skema kerja pembuatan larutan HCl 1M.....	32
Lampiran 3. Skema kerja ekstraksi lignin dari pelepah aren .....	33
Lampiran 4. Skema kerja pembuatan larutan medium korosif dengan adanya ekstrak lignin dari pelepah aren .....	34
Lampiran 5. Skema kerja penentuan laju korosi dengan metode <i>weightloss</i> .....	35
Lampiran 6. Skema kerja pengukuran <i>fourier transform infrared</i> (FTIR).....	36
Lampiran 7. Skema kerja pengukuran spektrofotometri UV-Vis.....	37
Lampiran 8. Skema kerja persiapan baja untuk analisis mikroskop optik .....	38
Lampiran 9. Skema kerja persiapan baja untuk analisis sudut kontak .....	39
Lampiran 10. Perhitungan pembuatan larutan HCl 1M dan ekstrak lignin dengan berbagai konsentrasi.....	40
Lampiran 11. Nilai kehilangan berat baja dalam larutan HCl 1M dengan dan tanpa penambahan ekstrak lignin selama 7 jam perendaman .....	41
Lampiran 12. Perhitungan luas permukaan baja (A).....	42
Lampiran 13. Nilai luas permukaan baja .....	43
Lampiran 14. Perhitungan besar laju korosi baja dan efisiensi inhibisi korosi.....	44
Lampiran 15. Nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi pada baja dalam HCl 1M dengan dan tanpa adanya ekstrak lignin yang direndam selama 7 jam .....	45
Lampiran 16. Perhitungan derajat penutupan permukaan ( $\Theta$ ) .....	46
Lampiran 17. Nilai derajat penutupan permukaan baja dalam medium HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin dengan waktu perendaman 7 jam..	47
Lampiran 18. Penentuan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ).....	48
Lampiran 19. Penentuan nilai perubahan entalpi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi ( $\Delta S^*$ ) aktivasi ....	49
Lampiran 20. Isoterm adsorpsi.....	50
Lampiran 21. Perhitungan $K_{ads}$ dan $\Delta G_{ads}$ .....	52
Lampiran 22. Penentuan nilai perubahan entalpi ( $\Delta H_{ads}$ ) dan entropi ( $\Delta S_{ads}$ ) adsorpsi .	53
Lampiran 23. Perbandingan spektrum FTIR murni dengan lignin dari pelepah aren .	54
Lampiran 24. Perbandingan sudut kontak tetesan air pada permukaan baja lunak ...	55
Lampiran 25. Gambar morfologi permukaan baja menggunakan mikroskop optik ....	56
Lampiran 26. Gambar Alat yang digunakan.....	57
Lampiran 27. Gambar ekstraksi lignin dari pelepah aren .....	58
Lampiran 28. Gambar uji laju korosi dengan metode <i>weightloss</i> .....	59

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
HCl	Asam Klorida	iv
Ea	Energi Aktivasi	iv
UV-Vis	<i>Ultraviolet Visible</i>	iv
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>	iv
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Asam Sulfat	1
HNO <sub>3</sub>	Asam Nitrat	1
NaCl	Natrium Klorida	2
Fe	Besi	5
Fe(OH) <sub>2</sub>	Besi (II) Hidroksida	5
Fe(OH) <sub>3</sub>	Besi (III) Hidroksida	5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Besi (III) Oksida	5
p.a	<i>Pro Analisis</i>	13
NaOH	Natrium Hidroksida	14

Lambang	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
g	Gram	iv
L	Liter	iv
C	<i>Celcius</i>	iv
M	Molaritas	iv
ppm	<i>Parts Per Million</i>	2
$\Delta G^{\circ}_{ads}$	Energi Gibbs Adsorpsi	8
J	<i>Joule</i>	9
K	<i>Kelvin</i>	9
R	Konstanta Gas Universal	8
T	Suhu	8
K <sub>ads</sub>	Konstanta Adsorpsi	8
C	Konsentrasi	9
$\theta$	Derajat Penutupan Permukaan	9
CR	Laju Korosi	9
m <sub>1</sub>	Berat Awal	9
m <sub>2</sub>	Berat Akhir	9
A	Luas Permukaan	9
t	Waktu	9
Ei	Efisiensi Inhibisi	10
N	Bilangan Avogadro	11
h	Konstanta Plank	11
$\Delta H^*$	Entalpi Aktivasi	11
$\Delta S^*$	Entropi Aktivasi	11
cm	sentimeter	13
mm	milimeter	13
mL	mililiter	14
nm	nanometer	15
mg	milligram	17
$\Delta H_{ads}$	Entalpi Adsorpsi	22
$\Delta S_{ads}$	Entropi Adsorpsi	22



# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Baja lunak merupakan salah satu logam yang banyak digunakan untuk konstruksi infrastruktur di industri era modern. Baja lunak memiliki sifat mekanik yang baik, konduktivitas tinggi, dan biaya murah sehingga banyak diaplikasikan pada konstruksi bangunan, industri otomotif, dan pipa saluran<sup>1,2</sup>. Akan tetapi, baja lunak memiliki kelemahan yaitu sangat rentan mengalami korosi<sup>3</sup>. Selain itu, pada beberapa industri, penggunaan larutan asam seperti asam klorida (HCl), asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) banyak digunakan untuk menghilangkan karat pada permukaan baja. Larutan asam ini, selain efektif menghilangkan karat, juga akan menyerang permukaan baja yang tidak berkarat dan menyebabkan terjadinya korosi. Degradasi pada baja di lingkungan asam tersebut dapat menurunkan daya tahan baja dan menimbulkan masalah besar<sup>1,2,4</sup>. Oleh karena itu, mengendalikan laju korosi pada baja menjadi penelitian yang menarik pada beberapa dekade terakhir<sup>2</sup>.

Metode pencegahan korosi seperti pelapisan, paduan, dan pelindungan katodik telah banyak digunakan untuk pengendalian laju korosi. Namun, metode pencegahan korosi menggunakan inhibitor lebih populer di kalangan peneliti. Hal ini disebabkan inhibitor korosi memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan lebih ekonomis<sup>1</sup>. Umumnya, inhibitor korosi yang disintesis dari bahan anorganik dan organik dinilai efektif menghambat korosi di permukaan logam. Akan tetapi, inhibitor tersebut umumnya relatif mahal dan beracun sehingga berbahaya bagi manusia dan lingkungan<sup>1,5</sup>. Dengan demikian, dibutuhkan inhibitor korosi yang ramah lingkungan, tidak beracun, harga relatif murah dan mutakhir sebagai inhibitor korosi alternatif<sup>1</sup>.

Inhibitor organik bahan alam umumnya mengandung pasangan elektron bebas yang terdapat dalam heteroatom seperti oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Inhibitor tersebut juga memiliki ikatan konjunggasi yang dapat teradsorpsi di permukaan baja dan membentuk lapisan pelindung<sup>6,7</sup>. Penggunaan inhibitor korosi bahan alam telah banyak diaplikasikan karena tidak beracun, lebih ramah lingkungan, *biodegradable*, dan lebih murah<sup>8</sup>.

Lignin merupakan salah satu senyawa polimer yang terdapat pada dinding sel tanaman. Berdasarkan studi literatur, senyawa lignin mengandung gugus fungsi hidroksil, karboksil, dan metoksil. Senyawa lignin tersebut terdapat atom oksigen dan ikatan rangkap yang membuatnya dapat teradsorpsi pada permukaan logam dengan membentuk suatu lapisan penghalang antara logam dengan medium korosif sehingga dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi<sup>9,10</sup>.



Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan ekstrak lignin dari limbah pertanian telah dilaporkan efektif sebagai inhibitor korosi di antaranya penelitian yang dilakukan AR Shahmoradi *et.al.*, (2020) yang meneliti senyawa lignin dari cangkang kacang piskachio. Lignin cangkang kacang piskachio dengan konsentrasi 800 ppm efektif sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam larutan HCl 1M dengan efisiensi inhibisi sebesar 92%<sup>11</sup>. Pada penelitian S. Yahya *et.al.*, (2019) meneliti lignin dari ekstrak jerami padi efektif sebagai inhibitor korosi dengan nilai efisiensi inhibisi maksimum 83% pada baja lunak dalam larutan 3,5% NaCl pada suhu 40° C<sup>12</sup>.

Tanaman aren (*Arenga pinnata*) merupakan tanaman tropis yang tersebar luas hampir di seluruh wilayah Indonesia. Tanaman aren (*Arenga pinnata*) menjadi salah satu tanaman yang multiguna, seperti sebagai bahan pembuatan gula merah, ijuk dan tepung. Akan tetapi, pelepah aren menjadi salah satu bagian yang pemanfaatannya masih terbatas. Berdasarkan laporan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Dewi *et.al* (2021), pelepah aren mengandung senyawa lignin sebesar 24,67%<sup>10</sup>. Namun, penelitian terkait potensi ekstrak lignin dari pelepah aren sebagai inhibitor korosi pada baja lunak belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, pada penelitian ini diselidiki potensi ekstrak lignin dari pelepah aren sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka dapat dirumuskan bahwa:

1. Apakah ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) dapat digunakan sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M?
2. Berapa nilai efisiensi inhibisi ekstrak lignin yang diperoleh dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) dalam mengurangi laju korosi?
3. Apa jenis adsorpsi ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) pada permukaan baja lunak yang dihasilkan dalam proses inhibisi korosi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) sebagai inhibitor korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M.
2. Menentukan nilai efisiensi inhibisi yang dihasilkan ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) dalam mengurangi laju korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M.
3. Menentukan jenis adsorpsi ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) dengan permukaan baja sebagai inhibitor korosi.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan pemahaman baru mengenai perkembangan proteksi bahan logam dari korosi dengan memanfaatkan ekstrak lignin dari pelepah aren sebagai inhibitor korosi serta dapat menambah nilai ekonomi dari pelepah aren.



## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baja

Baja merupakan material logam yang telah banyak digunakan sebagai bahan konstruksi infrastruktur karena biaya yang rendah dan memiliki kekuatan mekanik yang baik<sup>1</sup>. Berdasarkan komposisi kimianya, baja dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu:

#### 1. Baja karbon

Baja karbon merupakan logam paduan antara besi (Fe) sebagai unsur utama dan karbon (C) sebagai unsur paduan utama serta beberapa unsur paduan lainnya seperti mangan (Mn), silikon (Si), fosfor (P) dan sulfur (S). Berdasarkan besar kandungan karbonnya, baja dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu baja karbon rendah (baja lunak) dengan kandungan karbon <0,35% bersifat ringan, kuat, dan lebih murah, namun mudah berkarat. Baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0,35-0,50% bersifat lebih kuat dari baja lunak dan umumnya digunakan sebagai bahan untuk membuat komponen mesin seperti poros dan roda gigi. Baja karbon tinggi dengan kandungan karbon sebesar 0,55-1,70% memiliki sifat paling kuat, keras dan umumnya digunakan untuk membuat komponen yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan tinggi seperti alat perkakas, baja tulangan dan pegas.

#### 2. Baja paduan rendah mutu tinggi

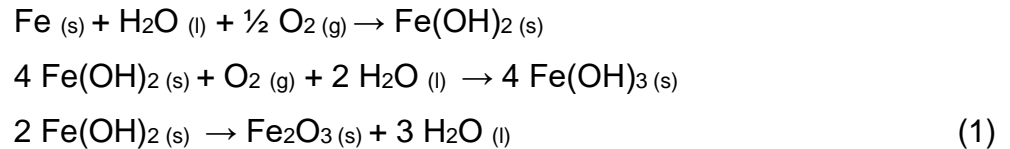
Baja paduan rendah mutu tinggi merupakan baja dengan penambahan bahan paduan seperti kromium (Cr), mangan (Mn), molibdenum (Mo), nikel (Ni), fosfor (P), dan vanadium (V). Penambahan bahan paduan tersebut dalam proses pembuatan baja dapat meningkatkan sifat mekanik pada baja<sup>13</sup>.

Baja menjadi material yang sangat rentan mengalami korosi akibat ketidakstabilan termodinamika<sup>3</sup>. Korosi yang terjadi akibat interaksi baja dengan lingkungan korosif seperti oksigen, air dan garam. Korosi ini dapat mengurangi ketahanan baja dan dapat menimbulkan risiko tinggi kecelakaan. Upaya pengurangan risiko korosi menjadi langkah penting yang dilakukan untuk mempertahankan ketahanan baja pada lingkungan korosif<sup>14</sup>.

### 2.2 Korosi

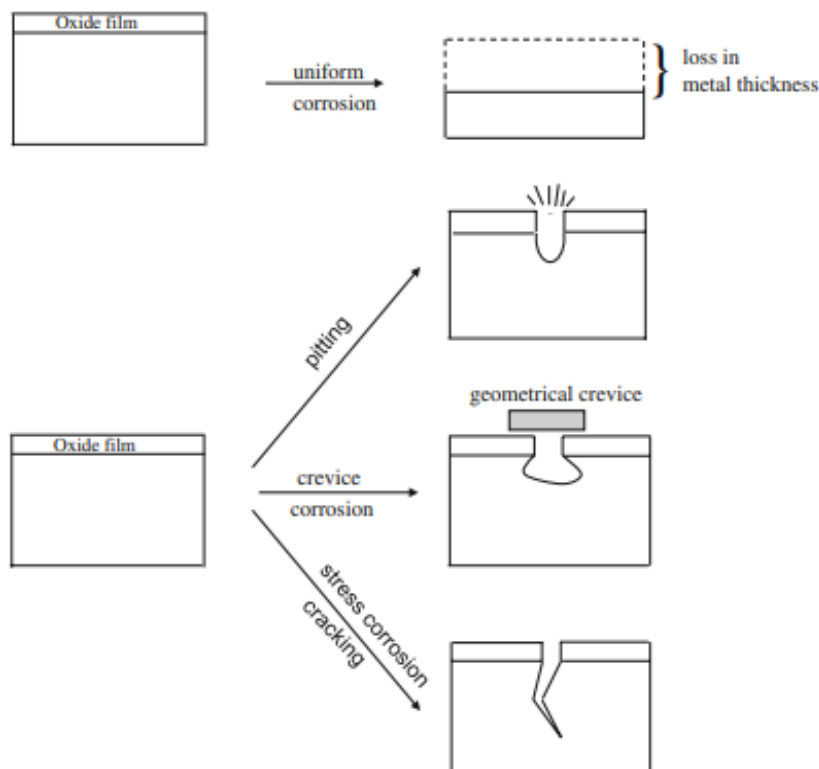
Korosi pada bahan logam dianggap sebagai masalah besar pada industri, sehingga sebagian besar peralatan berbahan logam dikontrol pengaruh degradasinya sehingga butuh milyaran dolar setiap tahun yang dikeluarkan. Secara umum, korosi merupakan serangan destruktif pada logam akibat bereaksi dengan lingkungannya. Korosi juga dapat didefinisikan sebagai proses elektrokimia melalui reaksi setengah sel<sup>15</sup>. Korosi

yang disebabkan oleh reaksi elektrokimia pada permukaan logam akan menghasilkan transformasi logam menjadi kondisi nonlogam<sup>16</sup>. Korosi akan terjadi jika reaksi setengah sel di anoda dan di katoda secara terus menerus mengalami proses melepaskan dan menerima elektron hingga mencapai kesetimbangan. Berikut mekanisme reaksi korosi besi dapat dilihat pada persamaan reaksi (1):



Besi (II) hidroksida [ $\text{Fe(OH)}_2$ ] merupakan senyawa hasil oksidasi sementara. [ $\text{Fe(OH)}_2$ ] akan bereaksi kembali dengan  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{O}_2$  di lingkungannya, sehingga menghasilkan besi (III) hidroksida [ $\text{Fe(OH)}_3$ ]. Selanjutnya, [ $\text{Fe(OH)}_3$ ] mengalami perubahan menjadi besi (III) oksida [ $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ] yang bentuk noda merah kecokelatan yang disebut karat<sup>17</sup>.

Korosi dibagi menjadi dua jenis yaitu *uniform corrosion* dan *localized corrosion*. Gambar 2.1, menunjukkan *representative* dari korosi seragam dan tiga bentuk korosi lokal. Pada korosi seragam, logam secara merata diserang hampir di semua permukaannya. Sedangkan pada korosi lokal, menunjukkan korosi hanya terjadi pada lokasi tertentu di permukaan logam, dan tiga bentuk lokasi yang paling umum yaitu lubang, celah dan retak tegangan<sup>15</sup>.



Gambar 2. 1. *Representatif* korosi seragam dan korosi lokal pada logam<sup>15</sup>

Pada logam, laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Temperatur

Kenaikan temperatur dapat mempercepat laju korosi akibat meningkatnya energi kinetik sehingga laju korosi menjadi lebih cepat.

2. Aliran fluida

Laju korosi cenderung meningkat dengan meningkatnya aliran fluida. Hal ini disebabkan kontak antara medium korosif dengan logam yang semakin tinggi dapat membuat ion-ion logam terlepas lebih cepat sehingga logam lebih mudah rapuh atau lebih mudah terkorosi.

3. pH

pH kecil dari 7 bersifat asam sedangkan pH besar dari 7 bersifat basa dan keduanya bersifat korosif<sup>17</sup>.

Secara kinetika, laju korosi logam di lingkungan korosif menjadi faktor penting dalam menentukan jangka waktu pemakaian suatu bahan struktural. Penentuan laju korosi dapat ditentukan dengan beberapa metode. Salah satunya dapat menggunakan metode *weight loss* dengan menghitung selisih massa logam sebelum dan setelah direndam dalam medium korosif<sup>15</sup>.

### 2.3 Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi merupakan zat yang ditambahkan dalam konsentrasi kecil ke lingkungan korosif secara efektif dapat menurunkan laju korosi pada logam<sup>18</sup>. Inhibitor korosi berdasarkan sumbernya dapat diklasifikasikan menjadi inhibitor organik dan inhibitor anorganik<sup>19</sup>. Pada umumnya, inhibitor korosi organik dan anorganik mengandung pasangan elektron bebas yang terdapat dalam heteroatomnya seperti belerang (S), nitrogen (N), dan oksigen (O). Inhibitor tersebut juga memiliki elektron  $\pi$  yang dapat teradsorpsi di permukaan logam sehingga dapat mencegah terjadinya korosi dengan melindungi permukaan aktif<sup>1,19</sup>.

Pada pencegahan korosi, inhibitor anorganik akan membentuk lapisan pasif pada permukaan logam teroksidasi<sup>1</sup>. Akan tetapi, inhibitor anorganik yang umum digunakan mengandung zat berbahaya, mahal, dan berdampak pada lingkungan dan makhluk hidup sehingga penggunaannya pada industri dibatasi<sup>20,21</sup>. Sebaliknya, inhibitor organik mencegah korosi dengan melapisi daerah permukaan logam dengan lapisan teradsorpsi<sup>1</sup>. Inhibitor organik ini menjadi pilihan yang lebih aman karena umumnya diekstrak dari bahan alam sehingga tidak beracun, ramah lingkungan, ekonomis, dan *biodegradable*<sup>20,22</sup>.

## 2.4 Tanaman Aren (*Arenga pinnata*)

Tanaman aren termasuk dalam famili *Palmae*, sub famili *Arecoideae*, suku *Caryotene*, marga *Arenga*, dan spesies *Arenga pinnata* yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Tanaman ini, umumnya dapat tumbuh hingga 5-6 m dan memiliki jenis daun majemuk dengan pertulangan menyirip<sup>23,24</sup>. Tanaman ini, banyak tumbuh di daerah beriklim tropis khususnya Asia Selatan dan Tenggara. Oleh karena itu, tanaman ini dapat ditemukan hampir di seluruh daerah di kepulauan Indo-Melayu seperti Filipina, Indonesia, dan Malaysia<sup>24</sup>.



Gambar 2. 2 Pelepah aren (*Arenga pinnata*)  
(Sumber: Dokumentasi Penulis)

Tanaman aren menjadi tanaman paling ekonomis karena hampir semua bagiannya dapat dimanfaatkan, seperti air nira dapat dijadikan gula merah, batang dapat diolah menjadi tepung, daunnya dapat dijadikan atap, dan buahnya dapat dikonsumsi<sup>10,24</sup>. Namun, pelepah aren menjadi bagian yang pemanfaatannya masih terbatas. Menurut Dewi *et.al.*, (2021) lignoselulosa yang merupakan senyawa penyusun dinding sel pada pelepah aren terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin dengan kadar yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

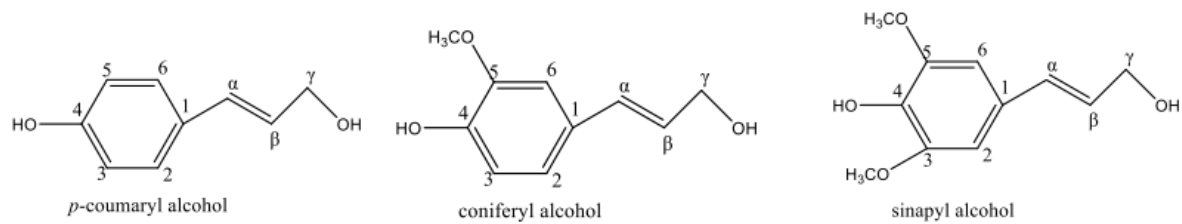
Tabel 2. 1 Komponen lignoselulosa pada pelepah aren<sup>25</sup>

Komponen Lignoselulosa	Kandungan Kimia (%)
Kadar Selulosa	21,97
Kadar Lignin	24,67
Kadar Hemiselulosa	23,00

## 2.5 Lignin

Lignin merupakan salah satu senyawa polimer yang terdapat pada dinding sel tanaman<sup>10</sup>. Lignin termasuk sumber daya terbarukan yang keberadaannya melimpah di alam<sup>26,27</sup>. Lignin mengandung struktur ikatan silang rumit yang terbentuk dari ikatan ester dengan hemiselulosa. Senyawa lignin tersusun atas jaringan kompleks polimerisasi yang terdiri dari tiga unit monolignol utama yaitu p-kumaril alkohol,

koniferil alkohol, dan sinapil alkohol. Struktur kimia dari ketiga unit monolignol utama tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3<sup>26</sup>.



Gambar 2. 3 Struktur prekursor lignin<sup>26</sup>

Lignin memiliki gugus fungsi hidroksi, karbonil, dan metoksi yang mengandung pasangan elektron bebas dan elektron  $\pi$  sehingga memungkinkannya dapat membentuk berbagai ikatan kimia. Lignin memiliki kelarutan yang rendah terhadap air dan umumnya sedikit larut pada pelarut organik<sup>10</sup>. Lignin memiliki warna yang berbeda pada tiap sumbernya, seperti pada kayu cemara warna lignin lebih gelap, sedangkan pada limbah *pulping* kraft dan sulfit, lignin berwarna coklat<sup>27</sup>.

## 2.6 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi dapat memberikan informasi mengenai mekanisme interaksi antara molekul inhibitor dengan permukaan logam<sup>28</sup>. Berdasarkan adsorpsi antara adsorbat dan adsorben, adsorpsi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik dipengaruhi oleh adanya interaksi elektrostatik dan terjadi antara permukaan logam dengan molekul inhibitor membentuk lapisan pelindung. Lapisan tersebut ikatannya lemah dan tidak stabil sehingga mudah terganggu oleh perubahan suhu. Sedangkan, adsorpsi secara kimia dipengaruhi oleh adanya ikatan kimia yang terbentuk yaitu ikatan kovalen koordinasi antara molekul inhibitor dengan permukaan baja membentuk lapisan pelindung<sup>28-30</sup>.

Energi bebas adsorpsi ( $\Delta G^{\circ}_{ads}$ ) dapat menunjukkan kespontanan suatu molekul inhibitor untuk teradsorpsi pada permukaan logam dan jenis adsorpsinya. Umumnya, jenis adsorpsi dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu: fisisorpsi, kemisorpsi dan campuran. Adsorpsi fisika dapat dilihat dari nilai  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  besar sama dengan -20 kJ/mol menunjukkan terjadi interaksi elektrostatik antara molekul inhibitor dengan permukaan logam. Pada adsorpsi kimia, nilai  $\Delta G^{\circ}_{ads}$  kecil sama dengan -40 kJ/mol menunjukkan terbentuknya ikatan kovalen koordinasi antara molekul inhibitor dengan permukaan baja<sup>1,28,39</sup>. Penentuan nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G^{\circ}_{ads}$ ) dapat menggunakan persamaan (2)<sup>1</sup>:

$$\Delta G^{\circ}_{ads} = -RT \ln(C_{air} \times K_{ads}) \quad (2)$$

Keterangan:

$\Delta G^{\circ}_{ads}$  = energi bebas adsorpsi (kJ/mol)

R = konstanta gas universal (8,314 J/molK)

T = suhu (K)

$K_{ads}$  = konstanta kesetimbangan adsorpsi

Ada beberapa jenis model isoterm adsorpsi yang dapat diterapkan untuk menentukan mekanisme penghambatan korosi di antaranya sebagai berikut:

#### 1. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Model isoterm adsorpsi ini diperoleh menggunakan persamaan (3)<sup>30</sup>:

$$\log \frac{C}{\theta} = \log K_{ads} + \frac{1}{n} \log C \quad (3)$$

Keterangan:

$\theta$  = derajat penutupan permukaan

$K_{ads}$  = konstanta kesetimbangan adsorpsi

n = konstanta,  $0 < n < 1$

C = konsentrasi inhibitor

#### 2. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Model isoterm adsorpsi ini diperoleh menggunakan persamaan (4)<sup>30</sup>:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C \quad (4)$$

Keterangan:

$\theta$  = derajat penutupan permukaan

$K_{ads}$  = konstanta kesetimbangan adsorpsi

C = konsentrasi inhibitor

## 2.7 Metode Pengukuran

### 2.7.1 Metode kehilangan berat (*Weight Loss*)

Metode kehilangan berat (*weight loss*) merupakan metode dengan prosedur pengujian sederhana, mudah dilakukan dan dapat digunakan untuk menghitung laju korosi<sup>31</sup>. Pada metode kehilangan berat, besar laju korosi dapat ditentukan menggunakan persamaan (5)<sup>32</sup>:

$$CR = \frac{m_1 - m_2}{A \cdot t} \quad (5)$$

Keterangan:

CR = laju korosi (mg/cm<sup>2</sup>jam)

$m_1$  = berat logam sebelum perendaman (mg)

$m_2$  = berat logam setelah perendaman (mg)

A = luas cakupan permukaan (cm<sup>2</sup>)



$t$  = waktu perendaman (jam)

Sedangkan, efisiensi inhibisi korosi dapat ditentukan menggunakan persamaan (6)<sup>32</sup>:

$$IE \% = \frac{CR_o - CR_i}{CR_o} \times 100 \quad (6)$$

Keterangan:

$E$  = efisiensi inhibisi (%)

$CR_o$  = laju korosi tanpa inhibitor (mg/cm<sup>2</sup>jam)

$CR_i$  = laju korosi dengan inhibitor (mg/cm<sup>2</sup>jam)

### 2.7.2 Derajat Penutupan ( $\Theta$ )

Derajat penutupan permukaan yang diperoleh dari hasil pengukuran laju korosi pada logam dapat digunakan untuk menentukan isoterm adsorpsi yang sesuai antara molekul inhibitor dengan permukaan logam. Serta derajat penutupan juga dapat menunjukkan seberapa besar permukaan logam yang terlindungi<sup>3,33</sup>. Penentuan besar derajat penutupan dapat menggunakan persamaan (7)<sup>3</sup>:

$$\Theta = \frac{CR_o - CR_1}{CR_o} \quad (7)$$

Keterangan:

$\Theta$  = derajat penutupan

$CR_o$  = laju korosi tanpa inhibitor (mg)

$CR_1$  = laju korosi dengan adanya inhibitor (mg)

### 2.7.3 Energi Aktivasi ( $E_a$ )

Energi aktivasi ( $E_a$ ) merupakan energi minimum yang harus dilewati agar suatu reaksi dapat berlangsung<sup>34</sup>. Nilai energi aktivasi dapat diperoleh dari persamaan (8)<sup>32</sup>:

$$CR = Ae \left( -\frac{E_a}{RT} \right) \quad (8)$$

Keterangan:

$CR$  = laju korosi (mg/cm<sup>2</sup>jam)

$A$  = konstanta praeksponensial Arrhenius

$E_a$  = energi aktivasi

$R$  = konstanta gas universal (8,314 J/mol.K)

$T$  = suhu (K)

### 2.7.4 Perubahan Entalpi ( $\Delta H$ ) dan Entropi ( $\Delta S$ )

Entalpi ( $\Delta H$ ) dan entropi ( $\Delta S$ ) merupakan parameter termodinamika yang dapat digunakan untuk menentukan kalor yang terlibat dan perubahan ketidakteraturan gerak partikel yang terjadi dalam suatu sistem. Entalpi bernilai positif menunjukkan terjadinya reaksi endotemik. Sebaliknya jika nilai entalpi bernilai negatif menunjukkan

terjadinya reaksi eksotermik<sup>1,35</sup>. Penentuan nilai perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) dan entropi ( $\Delta S$ ) dapat menggunakan persamaan keadaan transisi Arrhenius (9)<sup>32</sup>:

$$CR = \frac{RT}{N_h} e^{\frac{\Delta S^*}{\Delta H}} e\left(-\frac{\Delta H^*}{RT}\right) \quad (9)$$

Keterangan:

CR = laju korosi (mg/cm<sup>2</sup>jam)

N = bilangan Avogadro (6,023 x 10<sup>23</sup> /mol)

h = konstanta plank (6,63 x 10<sup>-34</sup> J/s)

R = konstanta gas molar (8,314 J/Kmol)

$\Delta H^*$  = entalpi (kJ/mol)

$\Delta S^*$  = entropi (J/molK)

T = suhu absolut (K)

## 2.8 Karakterisasi

### 2.8.1 Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

*Fourier Transform Infrared* (FTIR) merupakan instrumen yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis ikatan tertentu dari gugus fungsi yang terdapat dalam molekul. Umumnya, molekul inhibitor dari ekstrak tanaman mengandung senyawa organik yang dapat teradsorpsi pada permukaan logam selama proses korosi<sup>21</sup>. Oleh karena itu, pengukuran FTIR pada ekstrak tanaman dan produk korosi dapat digunakan untuk mengetahui kemungkinan interaksi senyawa teradsorpsi dengan logam melalui pergeseran spektrum FTIR<sup>3,21</sup>. Instrumen ini, memiliki banyak aplikasi terutama untuk senyawa polimer dan senyawa organik untuk menentukan gugus fungsi senyawa baik dalam wujud padat dan cair<sup>3,36</sup>.

### 2.8.2 Analisis Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan spektroskopi optik menggunakan sinar *ultraviolet* dan sinar *visible* yang didasarkan pada hukum Lamber Beer. Instrumen ini, digunakan untuk evaluasi analitik berbagai jenis senyawa pada panjang gelombang *uv-vis* dengan metode analisis berdasarkan pengukuran penyerapan cahaya monokromatik oleh senyawa<sup>37</sup>.

### 2.8.3 Analisis Mikroskop Optik

Mikroskop optik merupakan instrumen yang umum digunakan untuk berbagai bidang penelitian. Mikroskop optik, dapat mengidentifikasi komponen spesifik, menyelidiki interaksi antar komponen yang berbeda serta dapat memvisualisasikan permukaan suatu bahan<sup>38</sup>.

#### 2.8.4 Analisis Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak dapat memberikan informasi mengenai proses pembasahan, adhesi, dan penyerapan pada permukaan logam<sup>39</sup>. Sudut kontak juga dapat mengevaluasi hidrofobisitas dari lapisan pelindung pada permukaan logam<sup>40</sup>. Nilai sudut kontak kecil dari  $90^\circ$  pada permukaan logam menunjukkan permukaan logam bersifat hidrofilik. Sedangkan nilai sudut kontak besar dari  $90^\circ$  menunjukkan permukaan logam bersifat hidrofobik<sup>39</sup>.



## BAB III. METODE PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Januari sampai April 2023 di Laboratorium Foto/Elektrokimia Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Andalas. Pengukuran spektrofotometri *Ultraviolet-Visible* (UV-vis) dilakukan di Laboratorium Instrumen Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Padang. Pengukuran *fourier transform infrared* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Penelitian Departemen Farmasi Universitas Andalas. Analisis mikroskop optik dilakukan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Mesin Universitas Andalas.

### 3.2. Alat dan Bahan

#### 3.2.1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu neraca analitik, ampelas besi (*silicon carbide*) *grid* 100 dan 180, gerinda, kertas pH universal, alat-alat gelas, jangka sorong, oven (UN55 memmert), *waterbath* (Innotech BJPX Rockford), spektrofotometer UV-Visible (Shimadzu Specord 210 Plus), FTIR (Shimadzu), Mikroskop optik (Olympus SZX10) dan USB *Digital Microscope* LED 50-1000x.

#### 3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu baja lunak (AISI 1020), pelepah aren, asam klorida (HCl) p.a (*Smart lab*), akuades (H<sub>2</sub>O), aseton (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>O), asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) p.a (*Merck*), natrium hidroksida (NaOH) (*Merck*) dan kertas saring.

### 3.3. Prosedur Kerja

#### 3.3.1. Persiapan spesimen baja

Spesimen baja disiapkan dengan ukuran 3cm x 2cm x 1mm. Permukaan baja dibersihkan dan dihaluskan dengan gerinda dan kertas ampelas lalu dicuci dengan akuades. Kemudian, baja dibilas dengan aseton untuk menghilangkan lemak yang menempel pada permukaan baja. Selanjutnya baja dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 10 menit. Setelah baja kering, ditimbang dan hasil penimbangan dinyatakan dengan massa awal ( $m_1$ ).

#### 3.3.2. Proses ekstraksi lignin dari pelepah aren

Pelepah aren yang telah dikumpulkan lalu dibersihkan dan dipotong menjadi bagian kecil. Pelepah aren tersebut dikering anginkan sampai diperoleh berat konstan. Pelepah aren yang telah kering, kemudian digiling dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang sama. Bubuk pelepah aren

ditimbang 250 g dan di masukan dalam gelas piala serta dicampurkan dengan 2 L NaOH 15%. Campuran dipanaskan menggunakan *waterbath* pada suhu 80°C selama 2 jam. Campuran yang telah dipanaskan diangkat dari *waterbath* dan didiamkan selama 24 jam. Campuran kemudian disaring untuk dipisahkan antara endapan dan filtrat. Kemudian filtrat hasil penyaringan, diasamkan menggunakan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 40% hingga pHnya menjadi ±2 dan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 4 jam. Endapan lignin yang diperoleh dimasukan dalam wadah kemudian disimpan dalam desikator.

### 3.3.3. Pembuatan medium korosif

Medium korosif dibuat dari larutan induk HCl 37% dengan cara memipet 103,7 mL dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL lalu diencerkan sampai tanda batas dengan akuades serta dihomogenkan. Larutan HCl 5M yang terbentuk digunakan sebagai larutan induk untuk membuat larutan HCl 1M dengan memipet 10 mL dalam gelas piala dan diencerkan dengan akuades sampai volume 50 mL.

### 3.3.4. Pembuatan larutan korosif dengan adanya ekstrak lignin

Larutan medium korosif dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren diawali dengan menimbang 5 g ekstrak lignin dan dimasukan dalam labu ukur 100 mL, lalu ditambahkan akuades sampai tanda batas serta dihomogenkan sehingga didapatkan larutan induk dengan konsentrasi 50 g/L. Larutan induk tersebut selanjutnya divariasikan konsentrasinya menjadi 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 g/L. Larutan HCl 5M ditambahkan sebanyak 10 mL ke dalam variasi konsentrasi tersebut. Kemudian ditambahkan akuades sampai volume 50 mL sehingga didapatkan larutan HCl 1M dengan berbagai variasi konsentrasi ekstrak lignin.

### 3.3.5. Penentuan laju korosi berdasarkan metode kehilangan berat

Penentuan laju korosi pada baja lunak berdasarkan metode kehilangan berat dilakukan dengan merendam baja dalam 50 mL larutan HCl 1M dengan berbagai konsentrasi ekstrak lignin pada suhu 30, 40, 50, dan 60°C selama 7 jam menggunakan *waterbath*. Setelah 7 jam, baja diangkat dari medium korosif dan dicuci dengan akuades lalu disikat dengan sikat halus untuk membersihkan permukaan baja dari produk korosi yang menempel di permukaan baja kemudian baja dikeringkan. Baja yang telah kering, ditimbang dan hasil penimbangan dinyatakan sebagai berat akhir ( $m_2$ ). Selisih berat baja sebelum dan setelah perendaman dapat digunakan untuk menghitung laju korosi.

### 3.3.6. Pengukuran *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengukuran FTIR dilakukan dengan cara baja lunak yang telah direndam dalam larutan HCl 1M dengan 10 g/L ekstrak lignin selama 6 hari. Setelah 6 hari, baja lalu dikeringkan dan diambil produk korosi yang menempel pada permukaan baja dengan cara dikikis. Setelah itu, dilakukan pengukuran FTIR dan pengukuran juga dilakukan untuk ekstrak lignin dari pelepah aren.

### 3.3.7. Pengukuran spektrofotometri *Ultraviolet-Visible* (UV-Vis)

Pengukuran spektrofotometri UV-Vis dilakukan pada larutan HCl 1M yang telah direndam dengan baja tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L selama 6 hari. Setelah baja direndam, larutan tersebut dilakukan pengukuran menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 200-800 nm. Pengukuran juga dilakukan pada larutan HCl 1M dengan penambahan ekstrak lignin 10 g/L tanpa perendaman baja.

### 3.3.8. Analisis mikroskop optik

Analisis mikroskop optik dilakukan dengan direndam baja selama 6 hari dalam larutan HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L. Setelah 6 hari, baja lalu dikeringkan dan diamati morfologi permukaannya menggunakan mikroskop optik. Pengamatan morfologi permukaan juga dilakukan pada baja tanpa perlakuan.

### 3.3.9. Analisis sudut kontak

Analisis sudut kontak dilakukan dengan diteteskan air pada permukaan baja tanpa perlakuan, baja yang telah direndam dalam larutan HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L selama 7 jam. Selanjutnya dilakukan pengambilan gambar menggunakan USB *Digital Microscope*. Kemudian gambar yang diperoleh diukur sudut kontak menggunakan aplikasi *ImageJ Drop Analysis*. Setelah itu, dibandingkan hasil yang diperoleh dari tiga perlakuan yang berbeda.

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Ekstraksi Lignin dari Pelepah Aren (*Arenga pinnata*)

Pemanfaatan ekstrak lignin dari pelepah aren sebagai inhibitor korosi dilakukan untuk mengetahui potensi ekstrak lignin dari pelepah aren dalam mengurangi laju korosi pada baja lunak. Senyawa lignin diekstrak dari pelepah aren dengan memisahkan lignin dari lignoselulosa menggunakan metode delignifikasi. Pada ekstraksi lignin, NaOH 15% digunakan sebagai pelarut karena lignin dapat larut dalam suasana basa. Hal ini disebabkan ion OH<sup>-</sup> dari NaOH dapat memutus ikatan yang menghubungkan lignin dengan lignoselulosa, sedangkan ion Na<sup>+</sup> akan berikatan dengan lignin membentuk larutan natrium fenolat. Larutan tersebut berwarna coklat kehitaman dan untuk memisahkan lignin dari larutan, maka ditambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 40%. Penambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> akan menyebabkan selulosa larut dalam asam sedangkan lignin terpisah membentuk endapan yang berwarna coklat<sup>41</sup>.

Berdasarkan proses ekstraksi yang telah dilakukan, diperoleh ekstrak lignin berwarna coklat sebesar 57,1 g (22,8%) dari berat awal 250 g sampel yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Ekstrak lignin yang diperoleh akan ditambahkan dalam medium korosif untuk dianalisis kemampuan inhibisinya pada permukaan baja menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*), analisis *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), analisis spektrofotometri UV-Vis, dan analisis mikroskop optik serta analisis sudut kontak tetesan air pada permukaan baja.



Gambar 4. 1 Ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*)

### 4.2 Analisis Laju Korosi Menggunakan Metode Kehilangan berat (*Weight loss*)

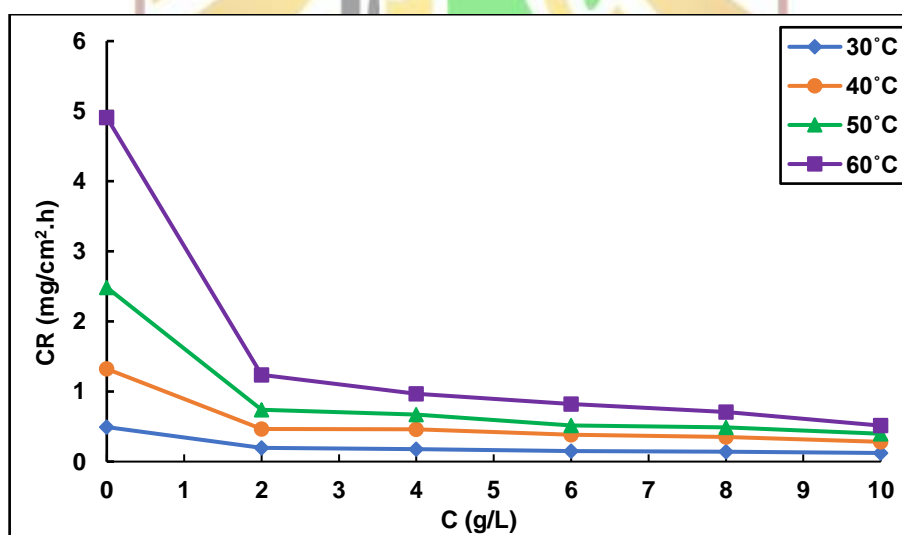
Analisis laju korosi menggunakan metode kehilangan berat (*Weight loss*) merupakan salah satu metode sederhana, biaya murah dan paling banyak digunakan dalam mengevaluasi laju korosi pada baja<sup>42</sup>. Analisis laju korosi menggunakan metode kehilangan berat ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren sebagai inhibitor korosi dalam medium HCl 1M. Efektivitas ekstrak lignin dari pelepah aren sebagai inhibitor korosi diuji dengan merendam baja lunak dalam larutan HCl 1M dengan memvariasikan konsentrasi inhibitor yaitu 0, 2, 4, 6, 8

dan 10 g/L pada variasi suhu 30, 40, 50 dan 60°C. Berdasarkan hasil percobaan, maka diperoleh data kehilangan berat baja yang disajikan pada lampiran 11.

#### 4.2.1 Laju korosi baja lunak dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren dalam medium HCl 1M dengan variasi suhu selama 7 jam perendaman

Gambar 4.2 menunjukkan peningkatan laju korosi dengan naiknya suhu tetapi mengalami penurunan dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak lignin. Peningkatan suhu akan menyebabkan energi kinetik partikel dalam larutan semakin besar sehingga tumbukan antar partikel akan sering terjadi dan reaksi korosi akan berlangsung semakin cepat<sup>43</sup>. Peningkatan konsentrasi inhibitor menyebabkan semakin banyak ekstrak lignin teradsorpsi sehingga semakin luas permukaan baja yang ditutupi<sup>44</sup>. Ekstrak lignin yang teradsorpsi tersebut akan membentuk lapisan pelindung dan memblokir akses medium korosif untuk berinteraksi dengan permukaan baja<sup>4,42</sup>.

Nilai laju korosi tertinggi diperoleh pada suhu 60°C sebesar 4,911 mg/cm<sup>2</sup>.jam untuk baja yang direndam dalam larutan HCl 1M tanpa adanya ekstrak lignin. Sedangkan, laju korosi terendah sebesar 0,123 mg/cm<sup>2</sup>.jam untuk baja yang direndam dalam larutan HCl 1M dengan penambahan 10 g/L ekstrak lignin dari pelepah aren pada suhu 30°C. Perhitungan dan nilai laju korosi baja lunak pada konsentrasi dan suhu yang berbeda dapat dilihat pada Lampiran 12-15.



Gambar 4. 2 Pengaruh konsentrasi ekstrak lignin terhadap laju korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M pada berbagai variasi suhu selama 7 jam perendaman.

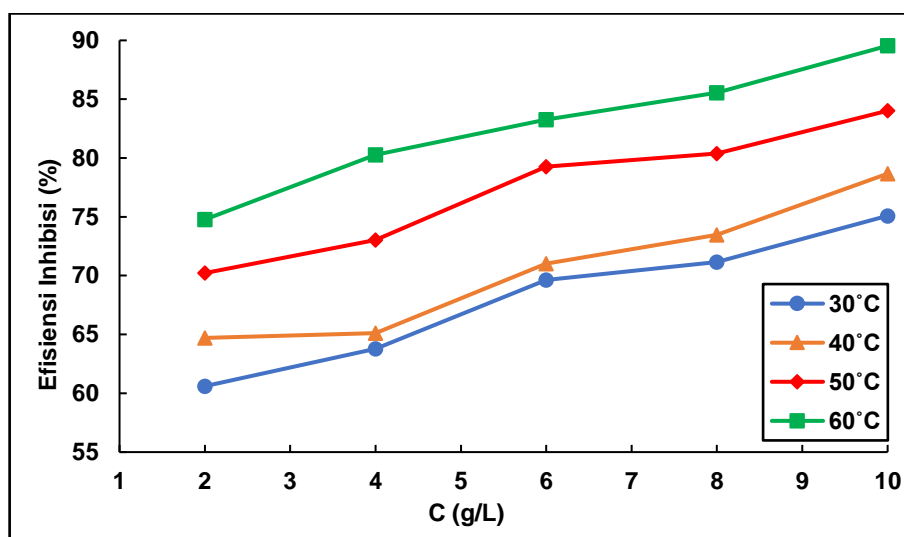
#### 4.2.2 Efisiensi inhibisi korosi dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren dalam medium HCl 1 M pada variasi suhu dengan 7 jam perendaman

Efisiensi inhibisi korosi merupakan persentase kemampuan inhibitor dalam menurunkan laju korosi. Gambar 4.2 menunjukkan efisiensi inhibisi korosi berbanding lurus dengan suhu dan konsentrasi inhibitor. Peningkatan efisiensi inhibisi dengan



meningkatnya suhu disebabkan adsorpsi kimia yang terjadi antara ekstrak lignin dengan permukaan baja semakin kuat pada suhu tinggi<sup>45,46</sup>. Peningkatan konsentrasi inhibitor akan menyebabkan semakin banyak ekstrak lignin yang dapat teradsorpsi di permukaan baja. Molekul yang teradsorpsi tersebut akan melindungi permukaan baja dengan membentuk lapisan pelindung yang dapat menghambat terjadinya korosi<sup>4,42</sup>.

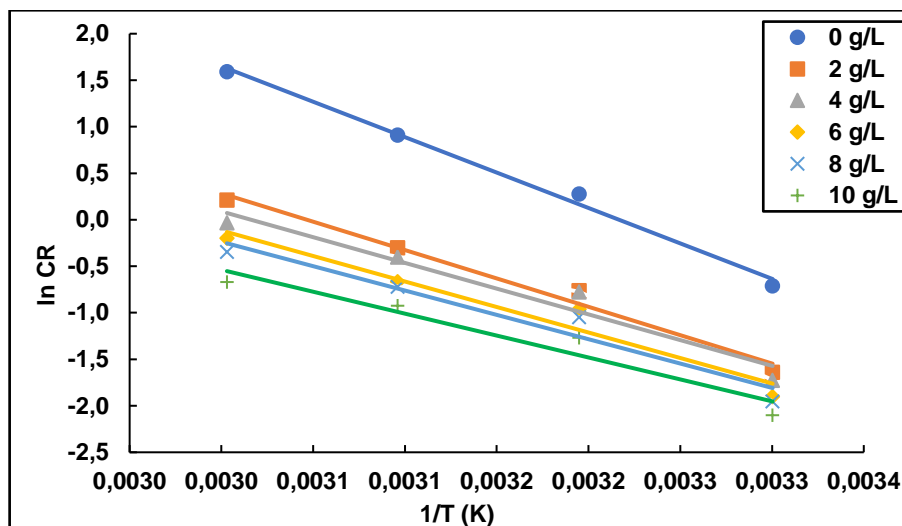
Efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 89,54% diperoleh pada perendaman baja dalam medium HCl 1M dengan penambahan 10 g/L ekstrak lignin pada suhu 60°C. Efisiensi inhibisi terendah sebesar 60,61% dengan penambahan 2 g/L ekstrak lignin pada suhu 30°C. Perhitungan dan nilai efisiensi inhibisi pada konsentrasi dan suhu yang berbeda disajikan pada Lampiran 14-15.



Gambar 4. 3 Pengaruh konsentrasi ekstrak lignin terhadap efisiensi inhibisi korosi pada baja lunak dalam medium HCl 1M pada berbagai variasi suhu selama 7 jam perendaman.

#### 4.3 Penentuan Energi Aktivasi ( $E_a$ )

Energi aktivasi ( $E_a$ ) merupakan energi minimum yang diperlukan suatu reaksi kimia untuk dapat bereaksi. Energi aktivasi ( $E_a$ ) korosi baja lunak pada berbagai variasi dapat diselidiki menggunakan persamaan Arrhenius. Gambar 4.4 menunjukkan plot  $\ln$  *corrosion rate* (CR) terhadap  $1/T$  yang digunakan untuk diperoleh persamaan regresi. Persamaan regresi tersebut digunakan untuk menentukan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) pada masing-masing konsentrasi inhibitor. Berdasarkan hasil perhitungan, maka diperoleh nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.



Gambar 4. 4 Plot Arrhenius terhadap korosi baja lunak dalam larutan HCl 1M dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren pada suhu yang berbeda.

Tabel 4.1 menunjukkan penurunan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) dengan meningkatnya konsentrasi ekstrak lignin dari pelepah aren. Nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) yang mengalami penurunan dengan adanya inhibitor berkaitan dengan adsorpsi kimia<sup>47</sup>. Penurunan energi aktivasi ( $E_a$ ) tersebut disebabkan oleh ekstrak lignin yang teradsorpsi pada permukaan baja mengalami peningkatan. Meningkatnya adsorpsi ekstrak lignin pada permukaan baja menyebabkan kontak antara medium korosif dengan permukaan baja semakin berkurang sehingga laju korosi semakin rendah<sup>3,46</sup>.

Nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) tertinggi yang diperoleh pada perendaman baja tanpa adanya ekstrak lignin sebesar 63,30 kJ/mol. Sedangkan, nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) terendah diperoleh sebesar 39,19 kJ/mol pada perendaman baja dalam larutan HCl 1M dengan penambahan ekstrak lignin 10 g/L. Perhitungan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) dapat dilihat pada Lampiran 18.

Tabel 4. 1 Nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) pada berbagai konsentrasi ekstrak lignin dari pelepah aren

HCl 1M + Ekstrak Lignin (g/L)	Energi Aktivasi (kJ/mol)
0	63,30
2	50,70
4	46,00
6	45,58
8	43,51
10	39,19

#### 4.4 Penentuan Entalpi ( $\Delta H^*$ ) Dan Entropi ( $\Delta S^*$ ) Aktivasi

Nilai perubahan entalpi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi ( $\Delta S^*$ ) aktivasi pada suhu dan konsentrasi yang berbeda dengan dan tanpa adanya ekstrak lignin dapat diselidiki menggunakan persamaan keadaan transisi Arrhenius. Persamaan regresi yang diperoleh dari plot ln

CR/T terhadap I/T digunakan untuk menghitung nilai perubahan entalpi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi ( $\Delta S^*$ ) aktivasi pada masing-masing konsentrasi ekstrak lignin<sup>3</sup>.

Tabel 4. 2 Nilai entalpi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi ( $\Delta S^*$ ) aktivasi.

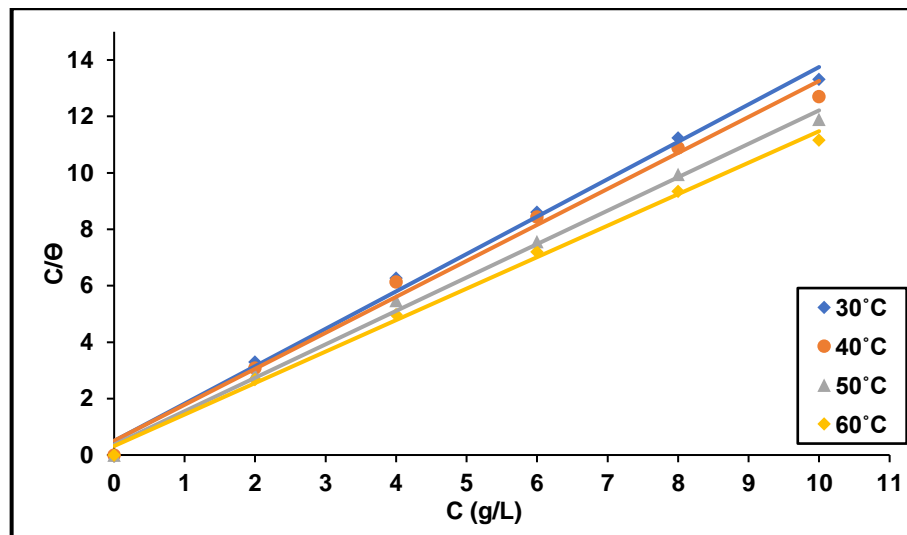
HCl 1M + Ekstrak Lignin (g/L)	$\Delta H^*$ (kJ/mol)	$\Delta S^*$ (J/mol.K)
0	60,66	-50,15
2	48,06	-99,30
4	43,36	-115,01
6	42,94	-117,98
8	40,87	-125,19
10	36,55	-140,66

Tabel 4.2 menunjukkan nilai entalpi aktivasi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi aktivasi ( $\Delta S^*$ ) yang diperoleh mengalami penurunan dengan meningkatnya konsentrasi inhibitor. Penurunan nilai entalpi aktivasi ( $\Delta H^*$ ) menunjukkan proses pembentukan karat di permukaan baja semakin sulit. Hal ini disebabkan ekstrak lignin yang teradsorpsi pada permukaan baja akan membentuk lapisan pelindung. Lapisan tersebut akan mencegah interaksi antara permukaan baja dengan medium korosif<sup>48</sup>. Sedangkan, nilai entalpi aktivasi ( $\Delta H^*$ ) bernilai positif menandakan proses peluruhan baja dalam lingkungan korosif terjadi secara endoterm<sup>1</sup>.

Pada entropi aktivasi ( $\Delta S^*$ ) yang bernilai negatif menunjukkan terjadinya transisi dari reaktan ke pembentukan kompleks teraktivasi. Penurunan nilai entropi aktivasi ( $\Delta S^*$ ) menunjukkan terjadinya penurunan ketidakteraturan gerakan partikel dalam medium korosif<sup>46</sup>. Perhitungan nilai entalpi aktivasi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi ( $\Delta S^*$ ) aktivasi dapat dilihat pada Lampiran 19.

#### 4.5 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk menjelaskan interaksi molekul inhibitor di permukaan baja<sup>1,3</sup>. Pola isoterm adsorpsi antara ekstrak lignin dengan permukaan baja dapat ditentukan dari nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang paling mendekati satu<sup>1</sup>. Berdasarkan hasil pengujian isoterm adsorpsi yang diperoleh, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) dari grafik isoterm adsorpsi Langmuir sebesar 0,9966 dapat dilihat pada Gambar 4.5. Selain itu, untuk nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada grafik isoterm adsorpsi Freundlich diperoleh sebesar 0,9886 yang disajikan pada Lampiran 20. Hal tersebut menunjukkan bahwa adsorpsi ekstrak lignin di permukaan baja mengikuti kaidah isoterm adsorpsi Langmuir dengan membentuk lapisan *monolayer* atau satu lapisan<sup>3,4</sup>. Terbentuknya lapisan *monolayer* ini ditandai dengan derajat penutupan permukaan baja yang mendekati satu. Perhitungan dan nilai derajat penutupan permukaan baja ( $\Theta$ ) dapat dilihat pada Lampiran 16-17.



	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
$R^2$	0,9941	0,9916	0,9959	0,9966

Gambar 4. 5 Isoterm adsorpsi Langmuir korosi baja dalam medium HCl 1M selama 7 jam perendaman berdasarkan metode pengukuran penurunan berat

$K_{ads}$  merupakan nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi ekstrak lignin di permukaan baja yang dapat digunakan untuk menghitung nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{ads}$ ) dapat dilihat pada Lampiran 21. Nilai  $K_{ads}$  yang cenderung meningkat dengan naiknya suhu, menunjukkan bahwa ekstrak lignin semakin kuat teradsorpsi pada permukaan baja<sup>28</sup>. Nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{ads}$ ) bernilai negatif menunjukkan adsorpsi ekstrak lignin di permukaan baja terjadi secara spontan.

Nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{ads}$ ) besar dari -20 kJ/mol menunjukkan adsorpsi fisika yang disebabkan oleh interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan permukaan baja. Nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{ads}$ ) kecil dari -40 kJ/mol menunjukkan adsorpsi kimia akibat transfer muatan dari inhibitor ke permukaan baja untuk membentuk ikatan kovalen koordinasi<sup>1,4</sup>. Sedangkan, nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{ads}$ ) antara -20 kJ/mol hingga -40 kJ/mol menunjukkan molekul inhibitor pada permukaan baja teradsorpsi secara campuran atau fisikemisorpsi<sup>46</sup>. Berdasarkan data yang diperoleh, nilai energi bebas adsorpsi ( $\Delta G_{ads}$ ) berada pada kisaran -19 kJ/mol hingga -22 kJ/mol yang menunjukkan ekstrak lignin dari pelepah aren teradsorpsi pada permukaan baja terjadi secara fisikemisorpsi atau campuran dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Pada parameter termodinamika, nilai entalpi adsorpsi ( $\Delta H_{ads}$ ) dan entropi adsorpsi ( $\Delta S_{ads}$ ) dapat ditentukan menggunakan persamaan Van't Hoff<sup>49</sup>. Persamaan regresi yang diperoleh dari plot  $\ln K_{ads}$  terhadap  $1/T$  dapat digunakan untuk menghitung nilai entalpi adsorpsi ( $\Delta H_{ads}$ ) dan entropi adsorpsi ( $\Delta S_{ads}$ ). Berdasarkan hasil yang diperoleh, entalpi adsorpsi ( $\Delta H_{ads}$ ) sebesar 13,79 kJ/mol dan entropi

adsorpsi ( $\Delta S_{\text{ads}}$ ) sebesar 108,15 J/mol.K. Hal ini menunjukkan proses adsorpsi molekul inhibitor di permukaan baja terjadi secara endoterm ditandai dengan nilai entalpi adsorpsi ( $\Delta H_{\text{ads}}$ ) yang bernilai positif<sup>3</sup>. Sedangkan entropi adsorpsi ( $\Delta S_{\text{ads}}$ ) bernilai positif menunjukkan terjadinya proses substitusi atau pergantian molekul air oleh molekul inhibitor yang teradsorpsi di permukaan baja<sup>50</sup>. Perhitungan nilai entalpi adsorpsi ( $\Delta H_{\text{ads}}$ ) dan entropi adsorpsi ( $\Delta S_{\text{ads}}$ ) dapat dilihat pada Lampiran 22.

Tabel 4. 3 Parameter termodinamika untuk adsorpsi ekstrak lignin dari pelepah aren pada baja lunak dalam medium HCl 1M pada suhu yang berbeda berdasarkan isoterm adsorpsi Langmuir

Suhu (°K)	$K_{\text{ads}}$	$\Delta G_{\text{ads}}$ (kJ/mol.K)	$\Delta H_{\text{ads}}$ (kJ/mol)	$\Delta S_{\text{ads}}$ (J/mol.K)
303	2,005	-19,15		
313	1,981	-19,75		
323	2,712	-21,23	13,79	108,15
333	3,135	-22,29		

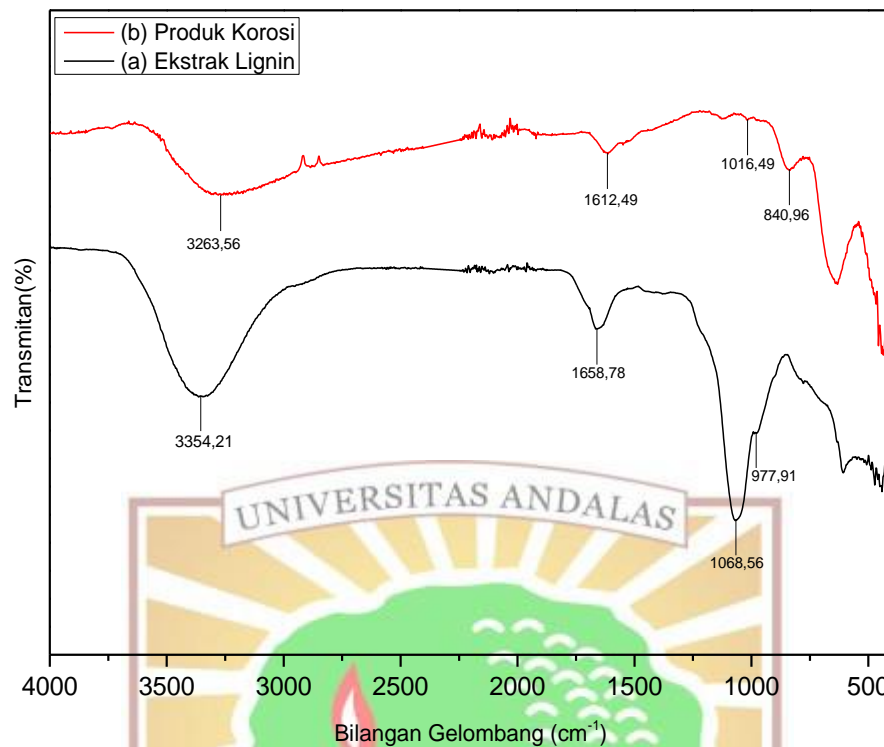
## 4.6 Karakterisasi

### 4.6.1 Analisis FTIR

Analisis FTIR bertujuan untuk mengetahui kemungkinan interaksi antara molekul inhibitor pada permukaan baja melalui perbandingan spektrum FTIR antara ekstrak lignin dengan produk korosi<sup>3</sup>. Pada Gambar 4.6 (a) terlihat puncak serapan untuk ekstrak lignin dari pelepah aren. Puncak serapan yang diperoleh pada bilangan gelombang 3354,21  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya *stretching* O-H, puncak serapan pada bilangan gelombang 1658,78  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya *stretching* C=C aromatik, puncak serapan pada bilangan gelombang 1068,56  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya *stretching* C-O, dan pada bilangan gelombang 977,91  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya *stretching* C-H aromatik<sup>12</sup>. Berdasarkan perbandingan antara spektrum FTIR dari hasil ekstraksi pelepah aren dengan spektrum FTIR lignin komersial dan alkali lignin menunjukkan endapan hasil ekstraksi pelepah aren merupakan senyawa lignin karena memiliki kesamaan puncak serapan yang dapat dilihat pada Lampiran 23<sup>51</sup>.

Gambar 4.6 (b) menunjukkan spektrum FTIR dari produk korosi yang memiliki puncak serapan yang hampir sama dengan Gambar 4.6 (a), namun mengalami penurunan puncak serapan. Penurunan puncak serapan tersebut terjadi pada bilangan gelombang 3354,21  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 3263,56  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya *stretching* O-H, pada bilangan gelombang 1658,78  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 1612,49  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan *stretching* C=C aromatik, pada bilangan gelombang 1068,56  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 1016,49  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya *stretching* C-O, dan pada bilangan gelombang 977,91  $\text{cm}^{-1}$  menjadi 840,96  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya *stretching* C-H

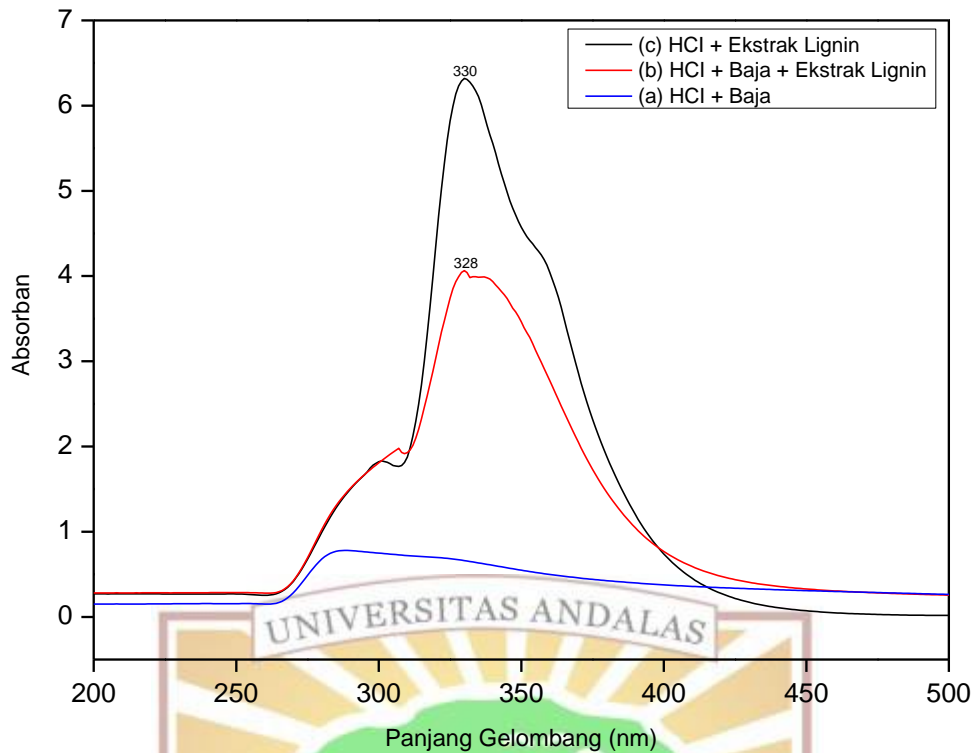
aromatik<sup>52</sup>. Penurunan puncak serapan tersebut menunjukkan adanya interaksi antara molekul lignin dengan permukaan baja yang membentuk lapisan penghalang<sup>3</sup>.



Gambar 4. 6 Spektrum FTIR dari (a) ekstrak lignin dari pelepah aren dan (b) produk korosi yang menempel di permukaan baja yang direndam dalam HCl 1M dan ekstrak lignin 10 g/L.

#### 4.6.2 Analisis spektrofotometri UV-Vis

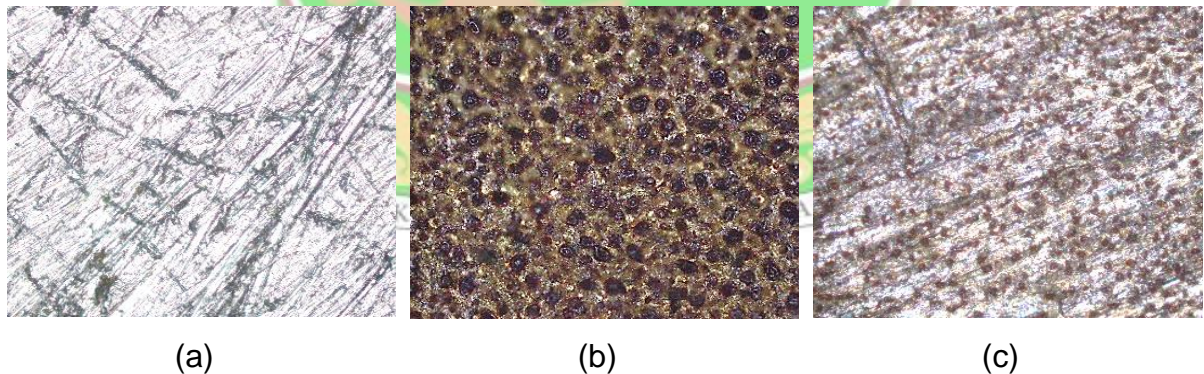
Gambar 4.7 menunjukkan spektrum spektrofotometri UV-Vis dari larutan baja yang direndam selama 6 hari dalam HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L, serta larutan ekstrak lignin dengan HCl 1M. Pada Gambar 4.7 (a) terlihat puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 288 nm dengan intensitas rendah yang menunjukkan adanya ion Fe dalam larutan baja yang direndam dalam HCl 1M, sedangkan pada Gambar 4.7 (b) dan (c) tidak muncul<sup>53</sup>. Pada Gambar 4.7 (b) dan (c) terlihat puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 328 nm dan 330 nm. Puncak serapan ini menunjukkan transisi elektron dari  $n \rightarrow \pi^*$  dari ikatan C=O pada senyawa lignin. Penurunan intensitas puncak dan pergeseran panjang gelombang maksimum yang terjadi pada Gambar 4.7 (b) dan (c) menunjukkan molekul lignin mentransfer pasangan elektron bebasnya ke orbital d pada ion  $Fe^{2+}$  di permukaan baja. Interaksi tersebut menyebabkan terbentuknya lapisan pelindung yang dapat mengurangi laju korosi di permukaan baja<sup>1,48,11</sup>.



Gambar 4. 7 Spektrum UV-Vis (a) baja + HCl 1M, (b) baja + HCl 1M + ekstrak lignin 10 g/L, dan (c) HCl 1M + ekstrak lignin 10 g/L.

#### 4.6.3 Analisis mikroskop optik

Morfologi permukaan baja dianalisis menggunakan mikroskop optik untuk baja yang direndam selama 6 hari dalam HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L serta baja tanpa perlakuan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



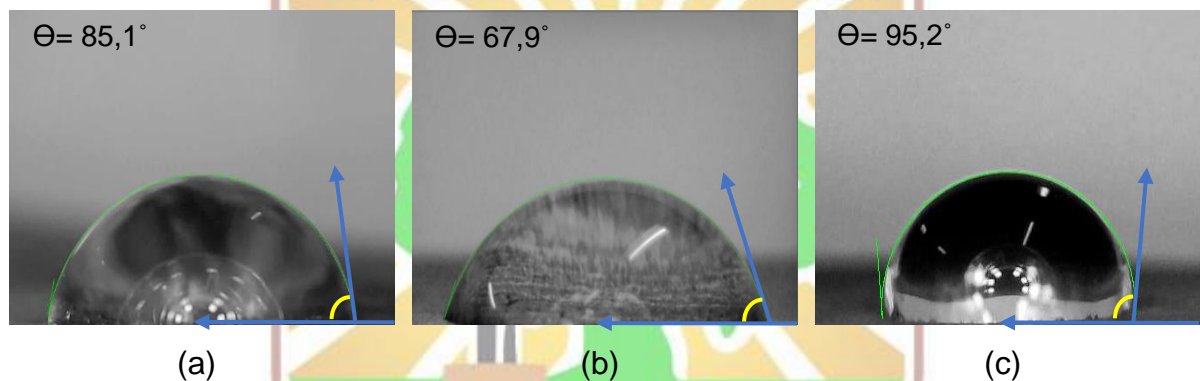
Gambar 4. 8 Morfologi permukaan baja (a) tanpa perlakuan (b) baja yang direndam dalam HCl 1M dan (c) baja yang direndam dalam HCl 1M dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L dengan pembesaran 20x.

Gambar 4.8 (a) menunjukkan permukaan baja tanpa perlakuan tidak terkorosi dan terdapat goresan kecil akibat pengaruh menggerinda dan pengamplasan serta tidak terlihat permukaan yang rusak. Pada Gambar 4.8 (b) terlihat permukaan baja yang direndam dalam HCl 1M mengalami kerusakan ditandai dengan adanya lubang atau pori di permukaan baja. Hal ini disebabkan oleh korosi yang terjadi akibat interaksi antara medium korosif dengan permukaan baja<sup>54</sup>. Gambar 4.8 (c) menunjukkan terjadi

penyusutan kerusakan pada permukaan baja yang muncul akibat korosi setelah baja direndam dalam HCl 1M dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L dibandingkan dengan Gambar 4.8 (b). Hal ini disebabkan adsorpsi ekstrak lignin di permukaan baja membentuk lapisan pelindung. Lapisan pelindung tersebut akan menghalangi medium korosif untuk berinteraksi dengan permukaan baja<sup>20,50,55</sup>. Berdasarkan analisis morfologi permukaan baja, ekstrak lignin dari pelepah aren mampu menghambat laju korosi pada permukaan baja.

#### 4.6.4 Analisis sudut kontak

Pengukuran sudut kontak tetesan air dilakukan pada permukaan baja dengan tiga perlakuan yaitu baja tanpa perlakuan, baja yang direndam dalam HCl 1M, dan baja yang direndam dalam HCl 1M dengan adanya ekstrak lignin 10 g/L selama 7 jam perendaman disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Sudut kontak tetesan air pada permukaan baja (a) tanpa perlakuan (b) baja + HCl 1M, dan (c) baja + HCl 1M + 10 g/L ekstrak lignin.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, besar sudut kontak permukaan baja pada Gambar 4.9 (a) sebesar  $85,1^\circ$  menunjukkan sifat hidrofilik. Gambar 4.9 (b) sebesar  $67,9^\circ$  menunjukkan sifat hidrofilik. Penurunan nilai sudut kontak tetesan air pada permukaan baja yang direndam dalam larutan HCl 1M disebabkan adanya interaksi antara permukaan baja dengan larutan HCl sehingga terbentuk karat. Karat tersebut memiliki pori-pori yang dapat menarik air di permukaan baja, dengan adanya kontak antara karat dan air menyebabkan terjadinya penurunan sudut kontak. Sudut kontak sebesar  $95,2^\circ$  pada Gambar 4.9 (c) menunjukkan sifat hidrofobik pada permukaan baja. Peningkatan sudut kontak tersebut disebabkan oleh ekstrak lignin yang teradsorpsi pada permukaan baja membentuk lapisan pelindung. Lapisan pelindung ini memiliki hidrofobisitas yang dapat menghambat invansi ion agresif yang larut dalam air sehingga dapat menghambat proses pelarutan pada permukaan baja<sup>56</sup>. Berdasarkan hasil yang diperoleh, ekstrak lignin dari pelepah aren mampu memperbesar sudut kontak sehingga dapat menurunkan laju korosi.



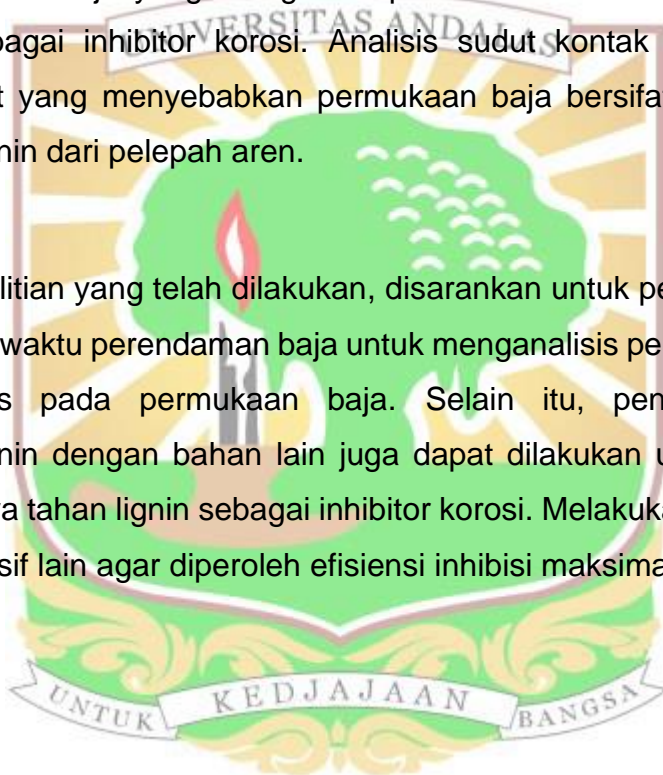
## BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa ekstrak lignin dari pelepah aren (*Arenga pinnata*) efektif digunakan sebagai inhibitor korosi baja lunak dalam medium HCl 1M. Efisiensi inhibisi maksimum ekstrak lignin dari pelepah aren sebesar 89,54% pada konsentrasi 10 g/L dan suhu 60°C. Adsorpsi ekstrak lignin dari pelepah aren mengikuti kaidah isoterm adsorpsi Langmuir dengan mekanisme adsorpsi campuran antara molekul inhibitor dengan permukaan baja. Analisis FTIR dan spektrofotometri UV-Vis menunjukkan adanya interaksi antara ekstrak lignin dari pelepah aren dengan permukaan baja. Analisis mikroskop optik menunjukkan morfologi permukaan baja yang mengalami penurunan kerusakan dengan adanya ekstrak lignin sebagai inhibitor korosi. Analisis sudut kontak yang menunjukkan peningkatan sudut yang menyebabkan permukaan baja bersifat hidrofobik dengan adanya ekstrak lignin dari pelepah aren.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk penelitian selanjutnya melakukan variasi waktu perendaman baja untuk menganalisis pengaruhnya terhadap sifat hidrofobisitas pada permukaan baja. Selain itu, pengembangan teknik penggabungan lignin dengan bahan lain juga dapat dilakukan untuk meningkatkan efektivitas dan daya tahan lignin sebagai inhibitor korosi. Melakukan analisis terhadap jenis medium korosif lain agar diperoleh efisiensi inhibisi maksimal.



## DAFTAR PUSTAKA

1. Karki, N.; Neupane, S.; Gupta, D. K.; Das, A. K.; Singh, S.; Koju, G. M.; Chaudhary, Y.; Yadav, A. P.: Berberine Isolated from Mahonia Nepalensis as an Eco-Friendly and Thermally Stable Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acid Medium. *Arabian Journal of Chemistry* 2021, 14, 12, 103423.
2. Ahmad, S.; Ahmad, W.; Abu Baker, A.; Egilmez, M.; Abuzaid, W.; Orhan, M. F.; Ibrahim, T.; Khamis, M.; Alnaser, A. S.: Enhancement of the Corrosion Resistance of Mild Steel with Femtosecond Laser-Nanostructuring and CrCoNi Medium Entropy Alloy Coating. *Applied Surface Science Advances* 2022, 12, 100321.
3. Emriadi; Untari, P.; Efdi, M.: Leave Extract of Syzygium Malaccenseas Green Inhibitor of Mild Steel in Acidic Medium. *Rasayan Journal of Chemistry* 2021, 14, 1, 569–577.
4. Murmu, M.; Saha, S. K.; Murmu, N. C.; Banerjee, P.: Effect of Stereochemical Conformation Into the Corrosion Inhibitive Behaviour of Double Azomethine Based Schiff Bases on Mild Steel Surface in 1 Mol L<sup>-1</sup> HCl Medium: An Experimental, Density Functional Theory and Molecular Dynamics Simulation Study. *Corrosion Science* 2019, 146, 134–151.
5. Sanaei, Z.; Ramezanzadeh, M.; Bahlakeh, G.; Ramezanzadeh, B.: Use of Rosa Canina Fruit Extract As a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCl Solution: A Complementary Experimental, Molecular Dynamics and Quantum Mechanics Investigation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2019, 69, 18–31.
6. Gao, C.; Zhao, X.; Fatehi, P.; Dong, X.; Liu, K.; Chen, S.; Wang, S.; Kong, F.: Lignin Copolymers As Corrosion Inhibitor for Carbon Steel. *Industrial Crops and Products* 2021, 168, 113585.
7. Najjari, I.; Almehdi, A. M.; Errachidi, F.; Rodi, Y. K.; Ramdani, M.; Abdel-Rahman; Chahdi, F. O.; Steli, H.; El Ghadraoui, L.; Elmsellem, H.: Anti-Corrosion Effect of Morrocan Flax Seeds Oil As An Eco-Friendly Inhibitor on Mild Steel in Acidic Media. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition* 2020, 9, 4, 1402–1418.
8. Tan, B.; Xiang, B.; Zhang, S.; Qiang, Y.; Xu, L.; Chen, S.; He, J.: Papaya Leaves Extract As a Novel Eco-Friendly Corrosion Inhibitor for Cu in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Medium. *Journal of Colloid and Interface Science* 2021, 582, 918–931.
9. Altwaiq, A. mnim; Khourī, S. J.; Al-luaibi, S.; Lehmann, R.; Drücker, H.; Vogt, C.: The Role of Extracted Alkali Lignin as Corrosion Inhibitor. *Journal of Materials and Environmental Science* 2011, 2, 3, 259–270.
10. Dewi, W. O. N. T.; Dewi, F.; Ardiansyah; Hijria; Sitti, W. O.: Analisis Kandungan Hemiselulosa, Selulosa, Dan Lignin Pelepah Aren (Arenga Pinnata Merr.) Berdasarkan Variasi Umur. *Journal of Biological Research* 2021, 8, 1, 29–35.
11. Shahmoradi, A. R.; Talebibahmanbigloo, N.; Javidparvar, A. A.; Bahlakeh, G.; Ramezanzadeh, B.: Studying the Adsorption/Inhibition Impact of the Cellulose and Lignin Compounds Extracted from Agricultural Waste on the Mild Steel Corrosion in HCl Solution. *Journal of Molecular Liquids* 2020, 304, 112751.
12. Yahya, S.; Othman, N. K.; Ismail, M. C.: Corrosion Inhibition of Steel in Multiple Flow Loop Under 3.5% NaCl in the Presence of Rice Straw Extracts, Lignin and R|Ethylene Glycol. *Engineering Failure Analysis* 2019, 100, 365–380.
13. Setiawan, A.: *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)*; Simarmata, L., Ed.; Erlangga: Ciracas, Jakarta, 2008.
14. Chen, Y.; Hu, Y.; Ding, C.; Ni, Q.; Jiang, Y.; Zhao, J.; Zhang, S.: The Corrosion Behaviors of Carbon Steel Under the Effect of AC and Imidazoline Quaternary Ammonium Salt Corrosion Inhibitor. *International Journal of Electrochemical*

- Science* 2023, 18, 6, 100143.
15. McCafferty, E.: *Introduction to Corrosion Science*; Springer, 2010.
  16. Popov, B. N.: *Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems*; International, B. A., Ed.; Elsevier, 2015.
  17. Komalasari; Utami, S. P.; Fermi, M. I.; Aziz, Y.; Irianti, R. S.: Corrosion Control of Carbon Steel Using Inhibitor of Banana Peel Extract in Acid Diluted Solutions. *Materials Science and Engineering* 2018, 345, 12030.
  18. Zakaria, F. A.; Hamidon, T. S.; Hussin, M. H.: Applicability of Winged Bean Extracts As Organic Corrosion Inhibitors for Reinforced Steel in 0.5 M HCl Electrolyte. *Journal of the Indian Chemical Society* 2022, 99, 100329.
  19. Zuo, X.; Li, W.; Luo, W.; Zhang, X.; Qiang, Y.; Zhang, J.; Li, H.; Tan, B.: Research of Liliun Brownii Leaves Extract As a Commendable and Green Inhibitor for X70 Steel Corrosion in Hydrochloric Acid. *Journal of Molecular Liquids* 2021, 321, 114914.
  20. Indrayani, N. L.: Studi Pengaruh Ekstrak Eceng Gondok Sebagai Inhibitor Korosi Untuk Pipa Baja Ss400 Pada Lingkungan Air. *Jurnal Teknik Mesin* 2016, 4, 2, 47–56.
  21. Yetri, Y.; Emriadi; Jamarun, N.; Gunawarman.: Corrosion Inhibitor of Mild Steel by Polar Extract of Theobroma Cacao Peels in Hydrochloric Acid Solution. *Asian Journal of Chemistry* 2015, 27, 3, 875–881.
  22. Stiadi, Y.; License, A.: Inhibisi Korosi Baja Ringan Menggunakan Bahan Alami Dalam Medium Asam Klorida: Review. *Jurnal Riset Kimia* 2019, 10, 1, 51–65.
  23. Ilyas, R. A.; Sapuan, S. M.; Atikah, M. S. N.; Asyraf, M. R. M.; Rafiqah, S. A.; Aisyah, H. A.; Nurazzi, N. M.; Norraahim, M. N. F.: Effect of Hydrolysis Time on the Morphological, Physical, Chemical, and Thermal Behavior of Sugar Palm Nanocrystalline Cellulose (*Arenga pinnata (wurmb.) merr*). *Textile Research Journal* 2021, 91, 1, 152–167.
  24. Asyraf, M. R. M.; Syamsir, A.; Supian, A. B. M.; Usman, F.; Ilyas, R. A.; Nurazzi, N. M.; Norraahim, M. N. F.; Razman, M. R.; Zakaria, S. Z. S.; Sharma, S.; Itam, Z.; Rashid, M. Z. A.: Sugar Palm Fibre-Reinforced Polymer Composites: Influence of Chemical Treatments on Its Mechanical Properties. *Materials* 2022, 15, 1–22.
  25. Aminah, D.; Fatriani, F.; Arryati, H.: Sifat Fisika Dan Kimia Pelepah Aren (*Arenga pinnata merr*) untuk Bahan Baku Alternatif Pupl Dan Kertas. *Journal of Sylva Indonesiana* 2020, 3, 3, 460–465.
  26. Solihat, N. N.; Sari, F. P.; Falah, F.; Ismayati, M.; Lubis, M. A. R.; Fatriasari, W.; Santoso, E. B.; Syafii, W.: Lignin as an Active Biomaterial: A Review. *Journal of Sylva Lestari* 2021, 9, 1, 1–22.
  27. Huang, J.; Fu, S.; Gan, L.: *Lignin Chemistry and Applications*; Press, C. I., Ed.; Elsevier: Cambridge, 2019.
  28. Sadeghi Erami, R.; Amirnasr, M.; Meghdadi, S.; Talebian, M.; Farrokhpour, H.; Raeissi, K.: Carboxamide Derivatives As New Corrosion Inhibitors for Mild Steel Protection in Hydrochloric Acid Solution. *Corrosion Science* 2019, 151, 190–197.
  29. Mozaffari Majd, M.; Kordzadeh-Kermani, V.; Ghalandari, V.; Askari, A.; Sillanpää, M.: Adsorption Isotherm Models: A Comprehensive and Systematic Review (2010–2020). *Science of the Total Environment* 2022, 812, 151334.
  30. Annon, I. A.; Abbas, A. S.; Al-Azzawi, W. K.; Hanoon, M. M.; Alamiery, A. A.; Isahak, W. N. R. W.; Kadhum, A. A. H.: Corrosion Inhibition of Mild Steel in Hydrochloric Acid Environment Using Thiadiazole Derivative: Weight Loss, Thermodynamics, Adsorption and Computational Investigations. *South African Journal of Chemical Engineering* 2022, 41, 244–252.
  31. Haldhar, R.; Vanaraj, R.; Dagdag, O.; Berisha, A.; Kim, S. C.: Convolvulus

- Microphyllus Extract as a Green, Effective, and Affordable Corrosion Inhibitor: Theoretical Calculations and Experimental Studies. *Coatings* 2023, 13, 860,1-23.
32. Stiadi, Y.; Rahmayeni; Rahmawati, L.; Efdi, M.; Aziz, H.; Emriadi.: Mangifera Odorata Griff Seed Extract As Corrosion Inhibitor of Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium. *Rasayan Journal of Chemistry* 2020, 13, 1, 230–239.
  33. Mohammadi, Z.; Rahsepar, M.: The Use of Green Bistorta Officinalis Extract for Effective Inhibition of Corrosion and Scale Formation Problems in Cooling Water System. *Journal of Alloys and Compounds* 2019, 770, 669–678.
  34. Aslam, R.; Mobin, M.; Huda; Shoeb, M.; Murmu, M.; Banerjee, P.: Proline Nitrate Ionic Liquid as High Temperature Acid Corrosion Inhibitor for Mild Steel: Experimental and Molecular-Level Insights. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2021, 100, 333–350.
  35. Shojaee, S.; Shahidi Zandi, M.; Rastakhiz, N.: The Effect of Tetracycline Drug As a Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in HCl Media. *Journal of the Indian Chemical Society* 2022, 99, 100700.
  36. Ottah, V. E.; Ezugwu, A. L.; Ezike, T. C.; Chilaka, F. C.: Comparative Analysis of Alkaline-Extracted Hemicelluloses from Beech, African Rose and Agba Woods Using FTIR and HPLC. *Heliyon* 2022, 8, e09714.
  37. Verma, G.; Mishra, M.: Development and Optimization Of UV-Vis Spectroscopy: A Review. *World Journal of Pharmaceutical Research* 2018, 7, 11, 1170–1180.
  38. Zhou, L.; Cai, M.; Tong, T.; Wang, H.: Progress in the Correlative Atomic Force Microscopy and Optical Microscopy. *Sensors* 2017, 17, 4, 1–15.
  39. Kalkhambkar, A. G.; Rajappa, S. K.; Manjanna, J.; Malimath, G. H.: Saussurea Obvallatta Leaves Extract As a Potential Eco-Friendly Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 1 M HCl. *Inorganic Chemistry Communications* 2022, 143, 109799.
  40. Rathod, M. R.; Rajappa, S. K.; Praveen, B. M.; Bharath, D. K.: Investigation of Dolichandra Unguis-Cati Leaves Extract As a Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acid Medium. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 2021, 4, 100113.
  41. Yudhi Utomo, M. S.; Fadila, E. N.: Isolasi Lignin Dari Sekam Padi (*Oriza Sativa*) Serta Pemanfaatannya Sebagai Adsorben Ion Cd(II). *Journal Cis-Trans* 2020, 4, 2, 19–26.
  42. Bhawsar, J.; Jain, P. K.; Jain, P.: Experimental and Computational Studies of Nicotiana Tabacum Leaves Extract as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in Acidic Medium. *Alexandria Engineering Journal* 2015, 54, 769–775.
  43. J. Olusegun, S.; Joshua, T.; Bodunrin, M.; Aribo, S.: Inhibition of Mild Steel Corrosion in HCl Solution by Plant Extract of Biden Pilosa. *National Science* 2018, 16, 1, 1–8.
  44. Thapa, B.; Gupta, D. K.; Yadav, A. P.: Corrosion Inhibition of Bark Extract of Euphorbia Royleana on Mild Steel in 1M HCl. *Journal of Nepal Chemical Society* 2019, 40, 25–29.
  45. Quy Huong, D.; Duong, T.; Nam, P. C.: Effect of the Structure and Temperature on Corrosion Inhibition of Thiourea Derivatives in 1.0 M HCl Solution. *ACS Omega* 2019, 4, 11, 14478–14489.
  46. Mobin, M.; Rizvi, M.; Olasunkanmi, L. O.; Ebenso, E. E.: Biopolymer from Tragacanth Gum as a Green Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in 1 M HCl Solution. *ACS Omega* 2017, 2, 7 3997–4008.
  47. Abdul Rahiman, A. F. S.; Sethumanickam, S.: Corrosion Inhibition, Adsorption and Thermodynamic Properties of Poly(Vinyl Alcohol-Cysteine) in Molar HCl. *Arabian Journal of Chemistry* 2014, 10, 4, 1–9.
  48. Haldhar, R.; Prasad, D.; Saxena, A.; Kumar, R.: Experimental and Theoretical Studies of Ficus Religiosa as Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in 0.5 M

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solution. *Sustainable Chemistry and Pharmac* 2018, 9, 8, 95–105.
49. Abdul Rahiman, A. F. S.; Sethumanickam, S.: Corrosion Inhibition, Adsorption and Thermodynamic Properties of Poly(Vinyl Alcohol-Cysteine) in Molar HCl. *Arabian Journal of Chemistry* 2017, 10, S3358–S3366.
50. Untari, P.; Emriadi; Efdi, M.; Azuxetullatif.: Efek Sinergetik Ekstrak Daun Jambu Bol (*Syzygium Malaccense*) Dan Iodida Terhadap Korosi Baja Dalam Larutan Asam. *Chempublish Journal* 2020, 5, 2, 179–193.
51. Ab Rahim, A. H.; Man, Z.; Sarwono, A.; Wan Hamzah, W. S.; Yunus, N. M.; Wilfred, C. D.: Extraction and Comparative Analysis of Lignin Extract from Alkali and Ionic Liquid Pretreatment. *Journal of Physics: Conference Series* 2018, 1123, 012052.
52. Rahayu, P. P.; Sundari, C. D. D.; Farida, I.: Corrosion Inhibition Using Lignin of Sugarcane Bagasse. *Institute of Physics Conference Series: Materials Science and Engineering* 2018, 434, 1–5.
53. Hassannejad, H.; Nouri, A.: Sunflower Seed Hull Extract as a Novel Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in HCl Solution. *Journal of Molecular Liquids* 2018, 254, 377–382.
54. Gusti, D. R.; Emriadi; Alif, A.; Efdi, M.: Corrosion Inhibition of Ethanol Extract of Cassava ( *Manihot Esculenta* ) Leaves on Mild Steel in Sulfuric Acid. *International Journal of ChemTech Research* 2017, 10, 2, 163–171.
55. Sığircık, G.; Yildirim, D.; Tüken, T.: Synthesis and Inhibitory Effect of N,N'-Bis(1-Phenylethanol)Ethylendiamine against Steel Corrosion in HCl Media. *Corrosion Science* 2017, 120, 184–193.
56. Zhou, Z.; Min, X.; Wan, S.; Liu, J.; Liao, B.; Guo, X. A Novel Green Corrosion Inhibitor Extracted from Waste Feverfew Root for Carbon Steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solution. *Results in Engineering* 2023, 17, 12, 100971.



## LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema kerja persiapan spesimen baja lunak

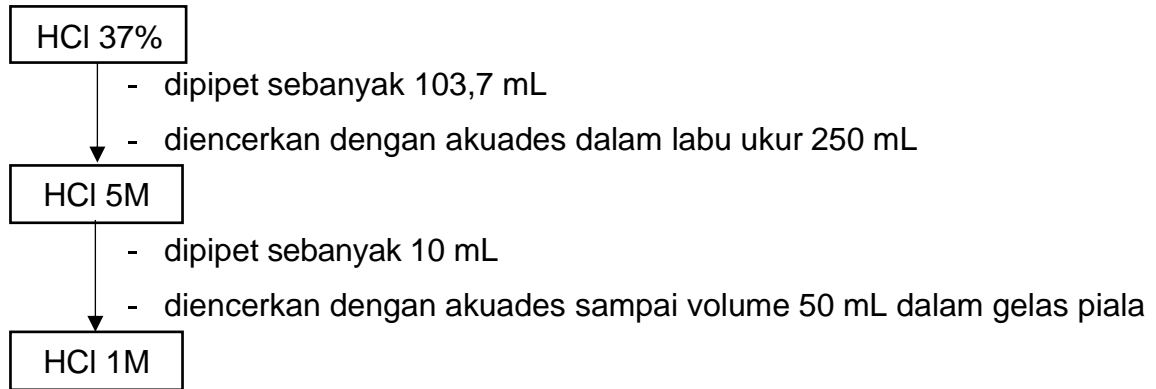
Baja lunak

- dipotong dengan ukuran 3 cm x 2 cm x 1 mm
- dibersihkan dan dihaluskan dengan amplas
- dicuci dengan akuades
- dibilas dengan aseton
- dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C
- ditimbang dengan neraca analitik

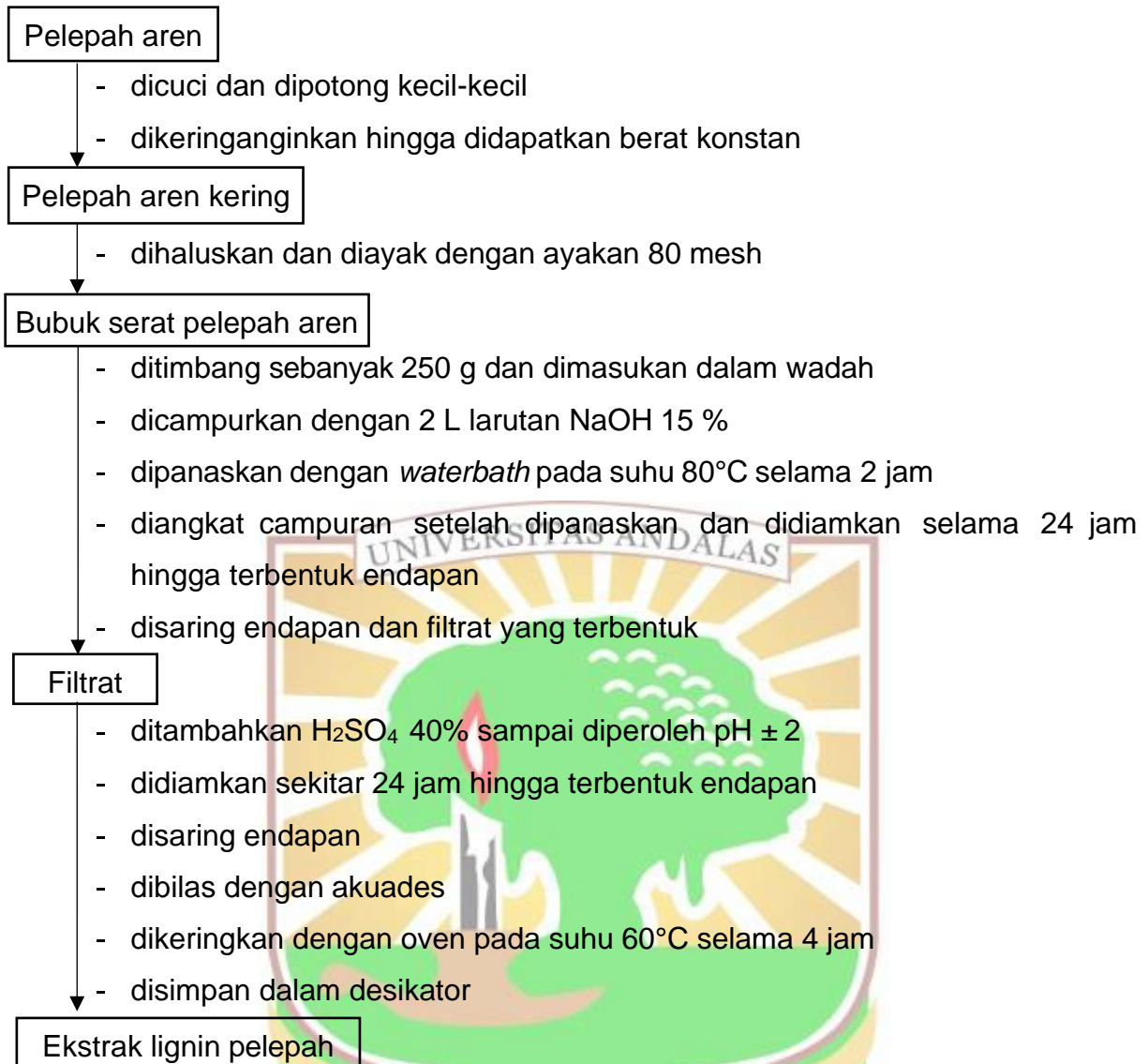
Massa baja awal ( $m_1$ )



## Lampiran 2. Skema kerja pembuatan larutan HCl 1M



## Lampiran 3. Skema kerja ekstraksi lignin dari pelepah aren





Lampiran 4. Skema kerja pembuatan larutan medium korosif dengan adanya ekstrak lignin dari pelepah aren

Ekstrak lignin

- ditimbang sebanyak 5 g
- dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 100 mL
- divariasikan konsentrasinya 0,2,4,6,8, dan 10 g/L
- ditambahkan larutan HCl 1M pada masing-masing konsentrasi
- ditambahkan akuades sampai volume 50 mL

Medium korosif



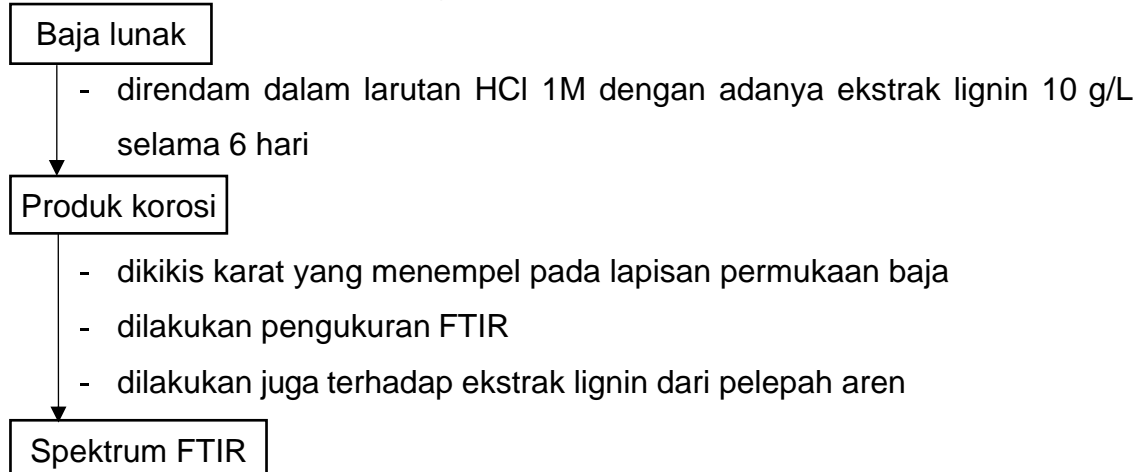
Lampiran 5. Skema kerja penentuan laju korosi dengan metode *weight loss*

Baja lunak

- direndam dalam 50 mL larutan HCl 1M selama 7 jam dengan penambahan ekstrak lignin dari pelepah aren pada berbagai konsentrasi dan variasi suhu 30, 40, 50, dan 60°C
- dicuci dengan akuades
- dikeringkan dan ditimbang

Massa baja akhir ( $m_2$ )



Lampiran 6. Skema kerja pengukuran *fourier transform infrared* (FTIR)

## Lampiran 7. Skema kerja pengukuran spektrofotometri UV-Vis

## Baja lunak

- direndam dalam larutan HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin pada konsentrasi 10 g/L selama 6 hari
- diukur absorban larutan pada panjang gelombang 200-800 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis
- dilakukan juga untuk ekstrak lignin dari pelepah aren tanpa perendaman baja lunak

## Spektrum UV-Vis



## Lampiran 8. Skema kerja persiapan baja untuk analisis mikroskop optik

## Baja lunak

- direndam dalam larutan HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin pada konsentrasi 10 g/L selama 6 hari
- dikeringkan dan dianalisis permukaan baja menggunakan mikroskop optik
- dilakukan juga analisis untuk baja lunak tanpa perendaman

## Morfologi permukaan baja



## Lampiran 9. Skema kerja persiapan baja untuk analisis sudut kontak

## Baja lunak

- diteteskan air pada permukaan baja tanpa perlakuan, baja setelah direndam dalam larutan HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin dari pelepah aren 10 g/L selama 7 jam
- dilakukan pengambilan gambar menggunakan *USB Digital Microscopy*
- diukur sudut kontak menggunakan software *imagej Drop Analysis*
- dibandingkan hasil yang diperoleh dari ketida perlakuan yang berbeda

## Sudut Kontak



Lampiran 10. Perhitungan pembuatan larutan HCl 1M dan ekstrak lignin dengan berbagai konsentrasi

a. Pembuatan larutan HCl

$$\rho \text{ HCl } 37\% = 1,19 \text{ g/mL}$$

$$M_r \text{ HCl} = 36,5 \text{ g/mol}$$

$$M \text{ HCl } 37\% = \frac{37 \text{ g HCl}}{100 \text{ g lar. HCl}} \times \frac{1,19 \text{ g Lar. HCl}}{1 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ mol HCl}}{36,5 \text{ g HCl}}$$

$$= 12,06 \text{ M}$$

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

Pengenceran HCl 12,06M menjadi HCl 5M

$$V_1 \times 12,06 \text{ M} = 250 \text{ mL} \times 5 \text{ M}$$

$$V_1 = 103,7 \text{ mL}$$

Pengenceran HCl 5M menjadi HCl 1M

$$V_1 \times 5 \text{ M} = 50 \text{ mL} \times 1 \text{ M}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$

b. Pembuatan larutan ekstrak lignin dari pelepah aren

$$\text{Konsentrasi larutan induk ekstrak lignin} = \frac{5 \text{ g}}{100 \text{ mL}} \times \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 50 \text{ g/L}$$

Variasi konsentrasi:

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

1. Konsentrasi 2 g/L

$$V_1 \times 50 \text{ g/L} = 50 \text{ mL} \times 2 \text{ g/L}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$

2. Konsentrasi 4 g/L

$$V_1 \times 50 \text{ g/L} = 50 \text{ mL} \times 4 \text{ g/L}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

3. Konsentrasi 6 g/L

$$V_1 \times 50 \text{ g/L} = 50 \text{ mL} \times 6 \text{ g/L}$$

$$V_1 = 6 \text{ mL}$$

4. Konsentrasi 8 g/L

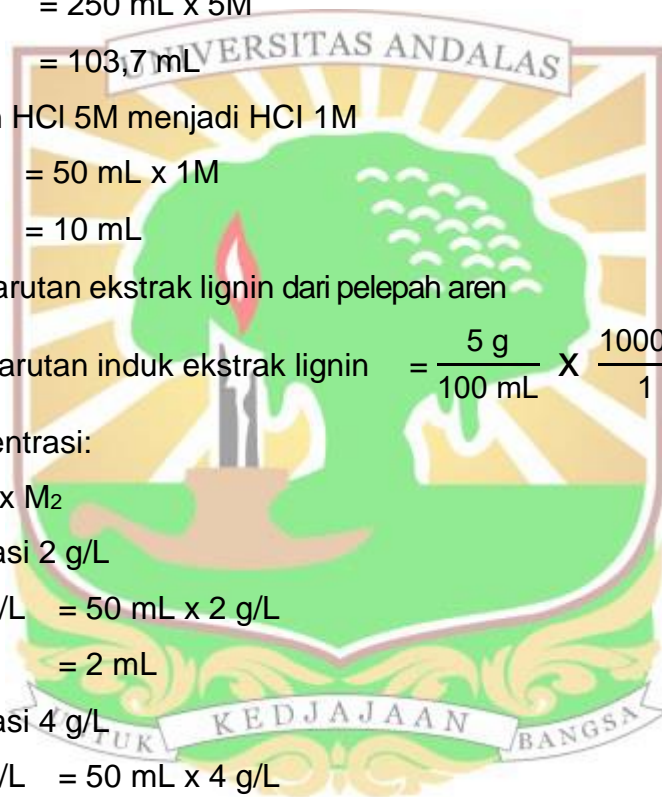
$$V_1 \times 50 \text{ g/L} = 50 \text{ mL} \times 8 \text{ g/L}$$

$$V_1 = 8 \text{ mL}$$

5. Konsentrasi 10 g/L

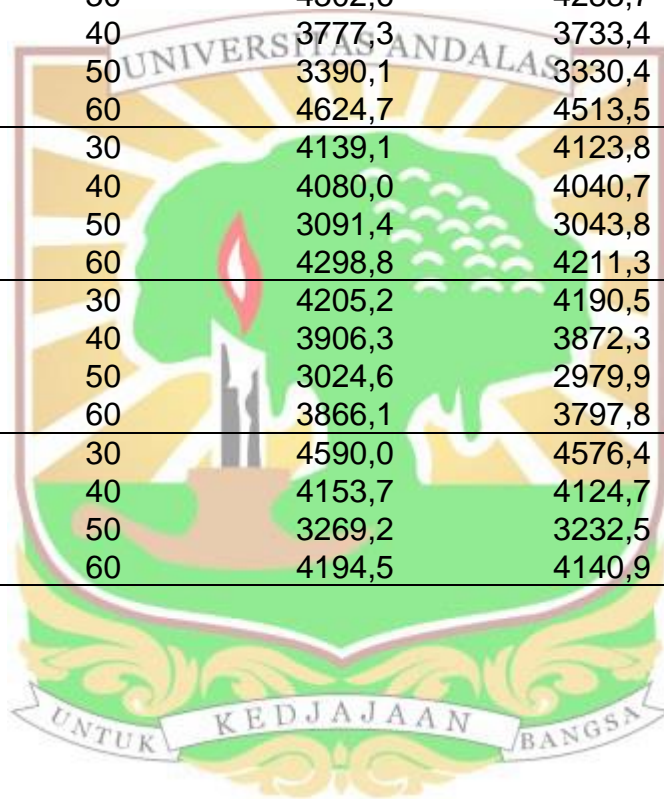
$$V_1 \times 50 \text{ g/L} = 50 \text{ mL} \times 10 \text{ g/L}$$

$$V_1 = 10 \text{ mL}$$



Lampiran 11. Nilai kehilangan berat baja dalam larutan HCl 1M dengan dan tanpa penambahan ekstrak lignin selama 7 jam perendaman

Konsentrasi Ekstrak Lignin (g/L)	Suhu (°C)	Massa Sebelum Perendaman (mg)	Massa Setelah Perendaman (mg)	$\Delta m$
0	30	4429,5	4376,7	52,9
	40	4234,0	4094,7	139,3
	50	3337,5	3095,9	241,7
	60	4441,8	3909,9	531,8
2	30	4242,6	4222,5	20,1
	40	4126,8	4078,3	48,6
	50	3779,7	3707,4	72,3
	60	4298,1	4165,3	132,9
4	30	4302,6	4283,7	18,9
	40	3777,3	3733,4	43,9
	50	3390,1	3330,4	59,8
	60	4624,7	4513,5	111,2
6	30	4139,1	4123,8	15,3
	40	4080,0	4040,7	39,3
	50	3091,4	3043,8	47,6
	60	4298,8	4211,3	87,5
8	30	4205,2	4190,5	14,7
	40	3906,3	3872,3	34,0
	50	3024,6	2979,9	44,7
	60	3866,1	3797,8	68,3
10	30	4590,0	4576,4	13,6
	40	4153,7	4124,7	29,0
	50	3269,2	3232,5	36,7
	60	4194,5	4140,9	53,6





## Lampiran 12. Perhitungan luas permukaan baja (A)

$$\text{Luas permukaan baja (A)} = ((2x(pl) + (2x(lt)) + (2x(pt)))$$

Contoh:

$$\text{Panjang (p)} = 3,165 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar (l)} = 2,251 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi (t)} = 0,100 \text{ cm}$$

$$\text{Luas Permukaan (A)} = 2 \times ((pl) + (lt) + (pt))$$

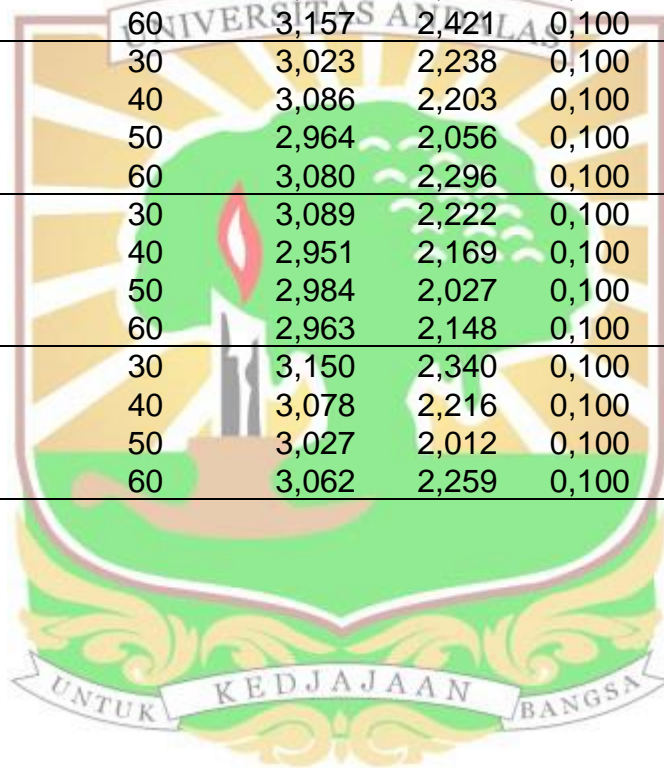
$$= ((2x(3,165 \times 2,251)) + (2x(2,251 \times 0,100)) + (2x(3,165 \times 0,100)))$$

$$= 15,336 \text{ cm}^2$$



Lampiran 13. Nilai luas permukaan baja

Konsentrasi Ekstrak Lignin (g/L)	Suhu (°C)	p (cm)	l (cm)	t (cm)	Luas Permukaan (cm <sup>2</sup> )
0	30	3,165	2,251	0,100	15,336
	40	3,163	2,208	0,100	15,042
	50	3,057	2,103	0,100	13,890
	60	3,185	2,258	0,100	15,471
2	30	3,036	2,263	0,100	14,801
	40	3,209	2,149	0,100	14,865
	50	3,086	2,093	0,100	13,954
	60	3,121	2,281	0,100	15,319
4	30	3,049	2,303	0,100	15,116
	40	2,962	2,123	0,100	13,592
	50	2,950	1,992	0,100	12,738
	60	3,157	2,421	0,100	16,399
6	30	3,023	2,238	0,100	14,584
	40	3,086	2,203	0,100	14,653
	50	2,964	2,056	0,100	13,190
	60	3,080	2,296	0,100	15,219
8	30	3,089	2,222	0,100	14,790
	40	2,951	2,169	0,100	13,825
	50	2,984	2,027	0,100	13,094
	60	2,963	2,148	0,100	13,749
10	30	3,150	2,340	0,100	15,837
	40	3,078	2,216	0,100	14,702
	50	3,027	2,012	0,100	13,188
	60	3,062	2,259	0,100	14,895



## Lampiran 14. Perhitungan besar laju korosi baja dan efisiensi inhibisi korosi

Laju korosi baja:

$$CR = \frac{\Delta m}{A \times t}$$

Efisiensi inhibisi:

$$\%EI = \frac{CR_{\text{tanpa inhibitor}} - CR_{\text{dengan adanya inhibitor}}}{CR_{\text{tanpa inhibitor}}} \times 100\%$$

Contoh:

$$\text{Panjang (p)} = 3,165 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar (l)} = 2,251 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi (t)} = 0,100 \text{ cm}$$

$$\text{Luas Permukaan (A)} = 2 \times ((p \times l) + (l \times t) + (p \times t))$$

$$= ((2 \times (3,165 \times 2,251)) + (2 \times (2,251 \times 0,100)) + (2 \times (3,165 \times 0,100)))$$

$$= 15,336 \text{ cm}^2$$

$$\text{Massa sebelum perendaman (m}_1\text{)} = 4429,5 \text{ mg}$$

$$\text{Massa sebelum perendaman (m}_2\text{)} = 4389,7 \text{ mg}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2$$

$$= 4429,5 \text{ mg} - 4376,7 \text{ mg}$$

$$= 52,9 \text{ mg}$$

Laju korosi pada suhu 30°C tanpa inhibitor

$$CR = \frac{\Delta m}{A \times t}$$

$$CR = \frac{52,9 \text{ mg}}{15,336 \text{ cm}^2 \times 7 \text{ jam}}$$

$$= 0,492 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{jam}$$

Efisiensi inhibisi korosi pada baja

$$\%EI = \frac{CR_{\text{tanpa inhibitor}} - CR_{\text{dengan adanya inhibitor}}}{CR_{\text{tanpa inhibitor}}} \times 100\%$$

$$CR_{\text{tanpa inhibitor}} = 0,492 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{jam}$$

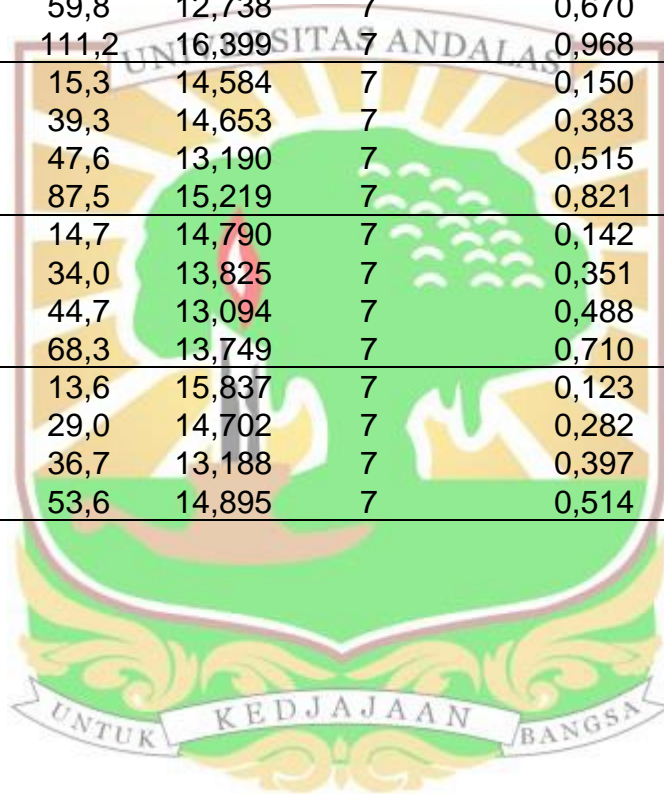
$$CR_{\text{dengan inhibitor}} = 0,194 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{jam}$$

$$\%EI = \frac{0,492 - 0,194}{0,492} \times 100\%$$

$$= 60,61 \%$$

Lampiran 15. Nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi korosi pada baja dalam HCl 1M dengan dan tanpa adanya ekstrak lignin yang direndam selama 7 jam

C (g/L)	T (°C)	$\Delta m$ (mg)	A (cm <sup>2</sup> )	t (jam)	CR (mg/cm <sup>2</sup> .jam)	EI (%)
0	30	52,9	15,336	7	0,492	0,000
	40	139,3	15,042	7	1,322	0,000
	50	241,7	13,890	7	2,485	0,000
	60	531,8	15,471	7	4,911	0,000
2	30	20,1	14,801	7	0,194	60,61
	40	48,6	14,865	7	0,467	64,71
	50	72,3	13,954	7	0,740	70,22
	60	132,9	15,319	7	1,239	74,77
4	30	18,9	15,116	7	0,178	63,79
	40	43,9	13,592	7	0,461	65,11
	50	59,8	12,738	7	0,670	73,04
	60	111,2	16,399	7	0,968	80,28
6	30	15,3	14,584	7	0,150	69,63
	40	39,3	14,653	7	0,383	71,03
	50	47,6	13,190	7	0,515	79,28
	60	87,5	15,219	7	0,821	83,27
8	30	14,7	14,790	7	0,142	71,17
	40	34,0	13,825	7	0,351	73,46
	50	44,7	13,094	7	0,488	80,38
	60	68,3	13,749	7	0,710	85,55
10	30	13,6	15,837	7	0,123	75,09
	40	29,0	14,702	7	0,282	78,67
	50	36,7	13,188	7	0,397	84,02
	60	53,6	14,895	7	0,514	89,54



Lampiran 16. Perhitungan derajat penutupan permukaan ( $\Theta$ )

$$\theta = \frac{CR_{\text{tanpa inhibitor}} - CR_{\text{dengan adanya inhibitor}}}{CR_{\text{tanpa inhibitor}}}$$

Contoh:

$$CR_{\text{tanpa inhibitor}} = 0,492 \text{ mg/cm}^2.\text{jam}$$

$$CR_{\text{dengan adanya inhibitor}} = 0,194 \text{ mg/cm}^2.\text{jam}$$

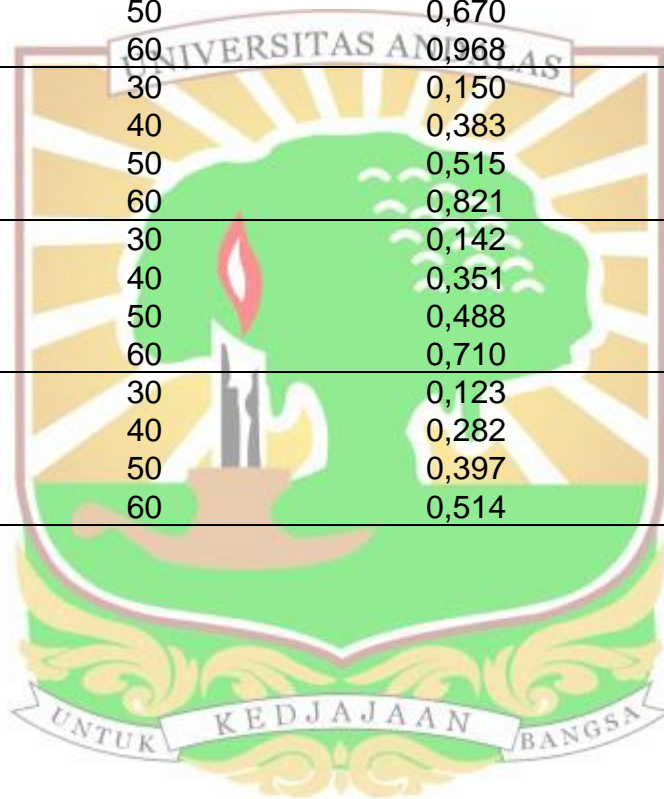
$$\theta = \frac{0,492 - 0,194}{0,492}$$

$$= 0,606$$



Lampiran 17. Nilai derajat penutupan permukaan baja dalam medium HCl 1M tanpa dan dengan adanya ekstrak lignin dengan waktu perendaman 7 jam

C (g/L)	T (°C)	CR (mg/cm <sup>2</sup> .jam)	Θ
0	30	0,492	0,000
	40	1,322	0,000
	50	2,485	0,000
	60	4,911	0,000
2	30	0,194	0,606
	40	0,467	0,647
	50	0,740	0,702
	60	1,239	0,748
4	30	0,178	0,638
	40	0,461	0,651
	50	0,670	0,730
	60	0,968	0,803
6	30	0,150	0,696
	40	0,383	0,710
	50	0,515	0,793
	60	0,821	0,833
8	30	0,142	0,712
	40	0,351	0,735
	50	0,488	0,804
	60	0,710	0,855
10	30	0,123	0,751
	40	0,282	0,787
	50	0,397	0,840
	60	0,514	0,895



Lampiran 18. Penentuan nilai energi aktivasi ( $E_a$ )

$$CR = Ae^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)}$$

$$\ln CR = \ln A - E_a/RT$$

$$Y = \ln CR$$

$$X = 1/T$$

$$\text{Slope} = - E_a/RT$$

$$E_a = - \text{slope} \times R$$

Contoh:

T (K)	CR (mg/cm <sup>2</sup> .jam)					
	0	2	4	6	8	10
303	0,492	0,194	0,178	0,150	0,142	0,123
313	1,322	0,467	0,461	0,383	0,351	0,282
323	2,485	0,740	0,670	0,515	0,488	0,397
333	4,911	1,239	0,968	0,821	0,710	0,514

1/T	ln CR					
	0	2	4	6	8	10
0,0033	-0,708	-1,640	-1,724	-1,900	-1,952	-2,098
0,0032	0,280	-0,762	-0,773	-0,959	-1,047	-1,265
0,0031	0,910	-0,301	-0,400	-0,664	-0,718	-0,923
0,0030	1,591	0,214	-0,032	-0,197	-0,343	-0,666

Nilai persamaan garis lurus dari tabel tanpa adanya inhibitor:

$$Y = - 7613,1x + 24,488$$

$$E_a = - \text{slope} \times R$$

$$= - (- 7613,1) \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$= 63,295 \text{ kJ/mol}$$

Nilai persamaan garis lurus dari tabel dengan adanya inhibitor 2g/L:

$$Y = - 6097,6x + 18,386$$

$$E_a = - \text{slope} \times R$$

$$= - (- 6097,6) \times 8,314 \text{ J/mol.K}$$

$$= 50,695 \text{ kJ/mol}$$

Lampiran 19. Penentuan nilai perubahan entalpi ( $\Delta H^*$ ) dan entropi ( $\Delta S^*$ ) aktivasi

$$CR = \frac{RT}{N_h} \exp \frac{\Delta S^*}{R} \exp \left( - \frac{\Delta H^*}{RT} \right)$$

$$\ln \frac{CR}{T} = \left[ \ln \left( \frac{R}{N_h} \right) + \frac{\Delta S^*}{R} \right] - \frac{\Delta H^*}{RT}$$

$$Y = \ln \frac{CR}{T}$$

$$X = 1/T$$

$$A = \ln \left( \frac{R}{N_h} \right) + \frac{\Delta S^*}{R}$$

$$B = - \frac{\Delta H^*}{R}$$

T (K)	1/T	CR (mg/cm <sup>2</sup> .jam)					
		0	2	4	6	8	10
303	0,0033	0,492	0,194	0,178	0,150	0,142	0,123
313	0,0032	1,322	0,467	0,461	0,383	0,351	0,282
323	0,0031	2,485	0,740	0,670	0,515	0,488	0,397
333	0,0030	4,911	1,239	0,968	0,821	0,710	0,514

T (K)	1/T	CR (mg/cm <sup>2</sup> .jam)					
		0	2	4	6	8	10
303	0,0033	-6,422	-7,354	-7,438	-7,614	-7,666	-7,812
313	0,0032	-5,467	-6,508	-6,520	-6,706	-6,793	-7,012
323	0,0031	-4,867	-6,078	-6,178	-6,441	-6,496	-6,701
333	0,0030	-4,217	-5,594	-5,840	-6,005	-6,151	-6,474

Nilai persamaan garis lurus dari tabel tanpa adanya inhibitor:

$$Y = - 7295,6x + 17,728$$

$$\begin{aligned} \Delta H^* &= - (\text{slope} \times R) \\ &= - (- 7295,6) \times 8,314 \text{ J/mol.K} \\ &= 60,656 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S^* &= - R \left[ \ln \left( \frac{R}{N_h} \right) - \text{intercept} \right] \\ &= - 8,314 \text{ J/mol.K} \left[ \ln \left( \frac{8,314 \text{ J/mol.K}}{((6,023 \times 10^{23}) (6,63 \times 10^{-34}))} \right) - 17,728 \right] \\ &= - 50,147 \text{ J/mol.K} \end{aligned}$$



## Lampiran 20. Isoterm adsorpsi

## a. Isoterm adsorpsi Langmuir

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir:

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C$$

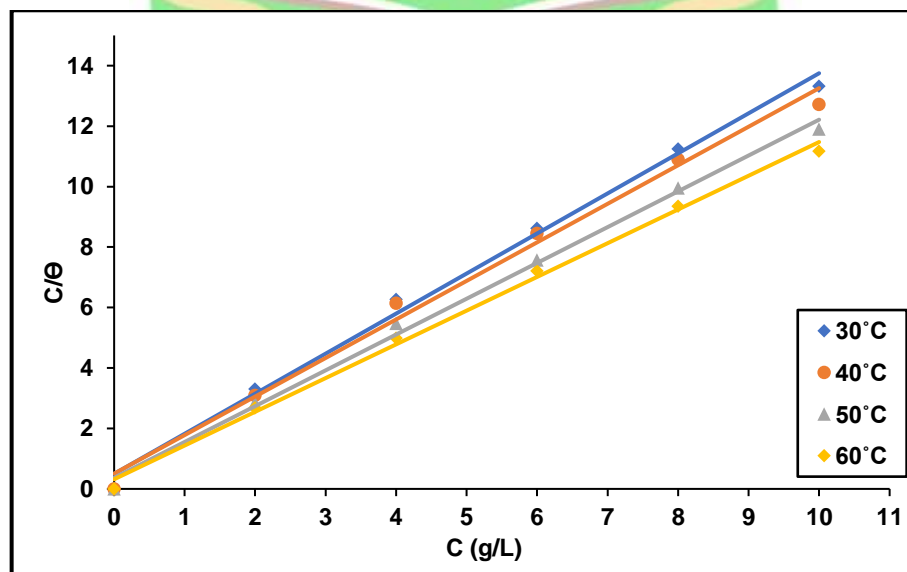
$$Y = \frac{C}{\theta}$$

$$X = C$$

C (g/L)	$\theta$			
	30°C	40°C	50°C	60°C
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,606	0,647	0,702	0,748
4	0,638	0,651	0,730	0,803
6	0,696	0,710	0,793	0,833
8	0,712	0,735	0,804	0,855
10	0,751	0,787	0,840	0,895

C (g/L)	C/ $\theta$			
	30°C	40°C	50°C	60°C
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	3,300	3,091	2,848	2,675
4	6,270	6,143	5,476	4,982
6	8,617	8,447	7,568	7,205
8	11,241	10,890	9,953	9,351
10	13,318	12,712	11,902	11,168

Grafik isoterm adsorpsi Langmuir



	30°C	40°C	50°C	60°C
$R^2$	0,9941	0,9940	0,9953	0,9966

## b. Isoterm adsorpsi Freundlich

Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich

$$\log \frac{C}{\theta} = \log K_{\text{ads}} + \frac{1}{n} \log C$$

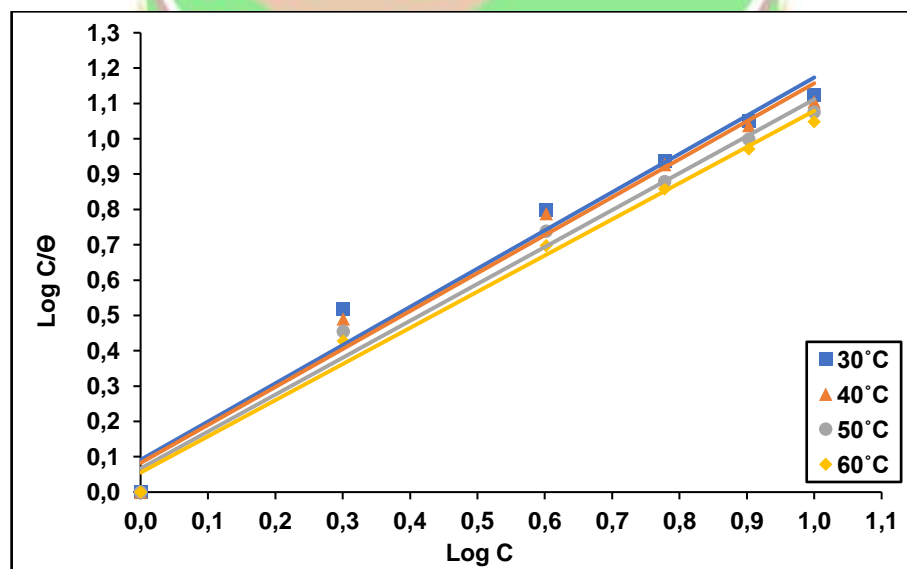
$$Y = \log C/\theta$$

$$X = \log C$$

C (g/L)	C/θ			
	30°C	40°C	50°C	60°C
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	3,300	3,091	2,848	2,675
4	6,270	6,143	5,476	4,982
6	8,617	8,447	7,568	7,205
8	11,241	10,890	9,953	9,351
10	13,318	12,712	11,902	11,168

Log C	Log (C/θ)			
	30°C	40°C	50°C	60°C
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,301	0,519	0,490	0,455	0,427
0,602	0,797	0,788	0,739	0,697
0,778	0,935	0,927	0,879	0,858
0,903	1,051	1,037	0,998	0,971
1,000	1,124	1,104	1,076	1,048

Grafik isoterm adsorpsi Freundlich



	30°C	40°C	50°C	60°C
R <sup>2</sup>	0,9724	0,9764	0,9839	0,9886

Lampiran 21. Perhitungan  $K_{ads}$  dan  $\Delta G_{ads}$ 

C (g/L)	$\theta$			
	30°C	40°C	50°C	60°C
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,606	0,647	0,702	0,748
4	0,638	0,651	0,730	0,803
6	0,696	0,710	0,793	0,833
8	0,712	0,735	0,804	0,855
10	0,751	0,787	0,840	0,895

C (g/L)	C/ $\theta$			
	30°C	40°C	50°C	60°C
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	3,300	3,091	2,848	2,675
4	6,270	6,143	5,476	4,982
6	8,617	8,447	7,568	7,205
8	11,241	10,890	9,953	9,351
10	13,318	12,712	11,902	11,168

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{ads}} + C$$

$$K_{ads} = \frac{1}{\text{intercept}}$$

Nilai persamaan garis lurus dari tabel pada suhu 30°C:

$$Y = 1,325x + 0,499$$

$$K_{ads} = \frac{1}{0,499}$$

$$= 2,005$$

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln (999 \times K_{ads})$$

$$= -8,314 \text{ J/molK} \times 303 \text{ K} \times \ln (999 \times 2,005)$$

$$= -19,152 \text{ kJ/mol}$$

Lampiran 22. Penentuan nilai perubahan entalpi ( $\Delta H_{\text{ads}}$ ) dan entropi ( $\Delta S_{\text{ads}}$ ) adsorpsi

Persamaan Van't Hoff:

$$\Delta G_{\text{ads}} = \Delta H_{\text{ads}} - \Delta S_{\text{ads}} \cdot T$$

$$\Delta G_{\text{ads}} = -RT \ln (999 \times K_{\text{ads}})$$

$$-RT \ln (999 \times K_{\text{ads}}) = \Delta H_{\text{ads}} - \Delta S_{\text{ads}} \cdot T$$

$$\ln (999 \times K_{\text{ads}}) = \frac{\Delta H_{\text{ads}} - \Delta S_{\text{ads}} \cdot T}{-RT}$$

$$\ln 999 + \ln K_{\text{ads}} = \frac{\Delta H_{\text{ads}} - \Delta S_{\text{ads}} \cdot T}{-RT}$$

$$\ln K_{\text{ads}} = \frac{-\Delta H_{\text{ads}}}{RT} + \frac{\Delta S_{\text{ads}}}{R} - \ln 999$$

$$Y = \ln K_{\text{ads}}$$

$$X = 1/T$$

$$A = \frac{\Delta S_{\text{ads}}}{R} - \ln 999$$

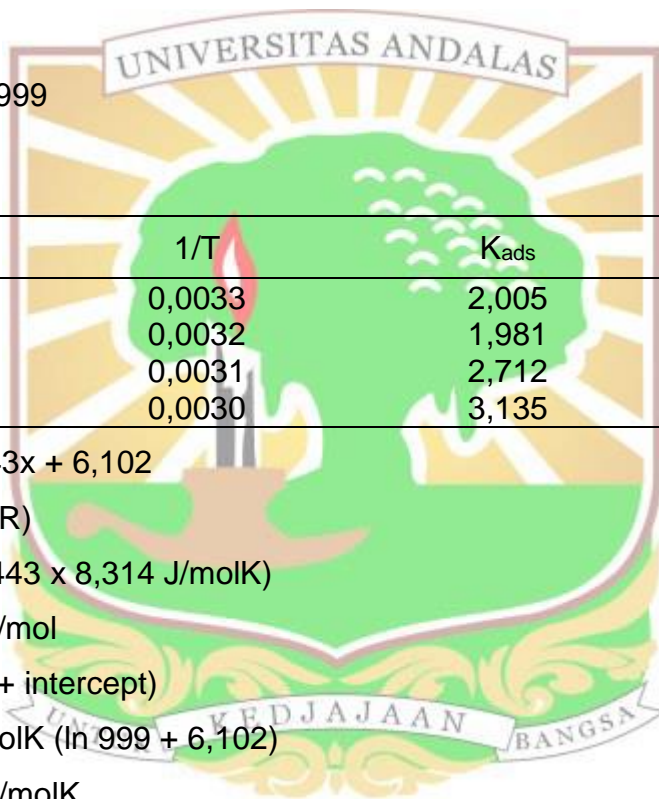
$$B = -\frac{\Delta H_{\text{ads}}}{R}$$

T (K)	1/T	$K_{\text{ads}}$	$\ln K_{\text{ads}}$
303	0,0033	2,005	0,696
313	0,0032	1,981	0,857
323	0,0031	2,712	0,949
333	0,0030	3,135	1,143

$$Y = -1,658,443x + 6,102$$

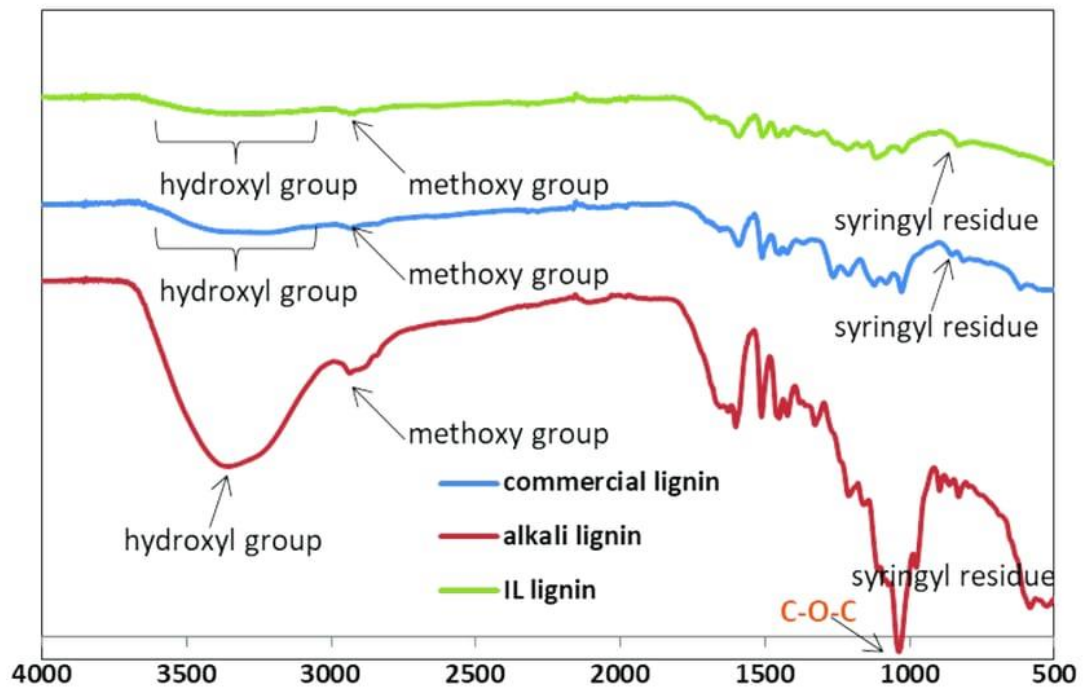
$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{ads}} &= -(\text{slope} \times R) \\ &= -(-1,658,443 \times 8,314 \text{ J/molK}) \\ &= 13,788 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{ads}} &= R (\ln 999 + \text{intercept}) \\ &= 8,314 \text{ J/molK} (\ln 999 + 6,102) \\ &= 108,151 \text{ J/molK} \end{aligned}$$

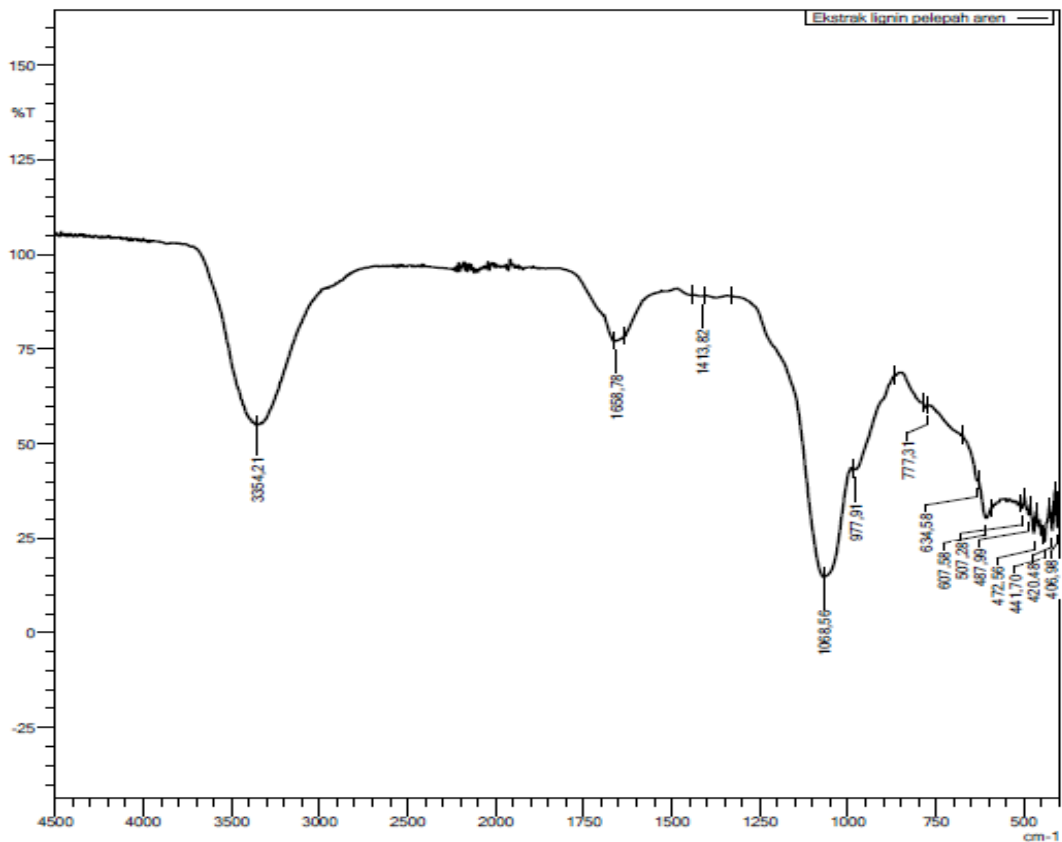


Lampiran 23. Perbandingan spektrum FTIR murni dengan lignin dari pelepah aren

a. Spektrum FTIR standar untuk senyawa lignin<sup>51</sup>

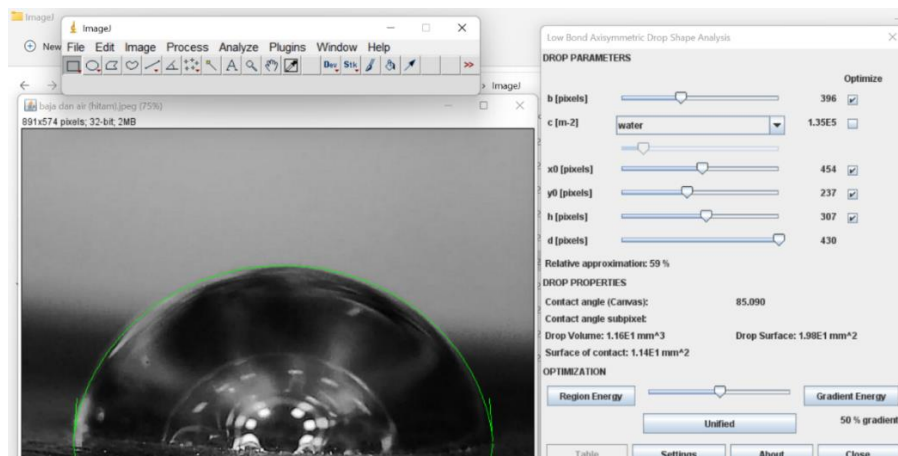


b. Spektrum FTIR ekstrak lignin yang diekstrak dari pelepah aren

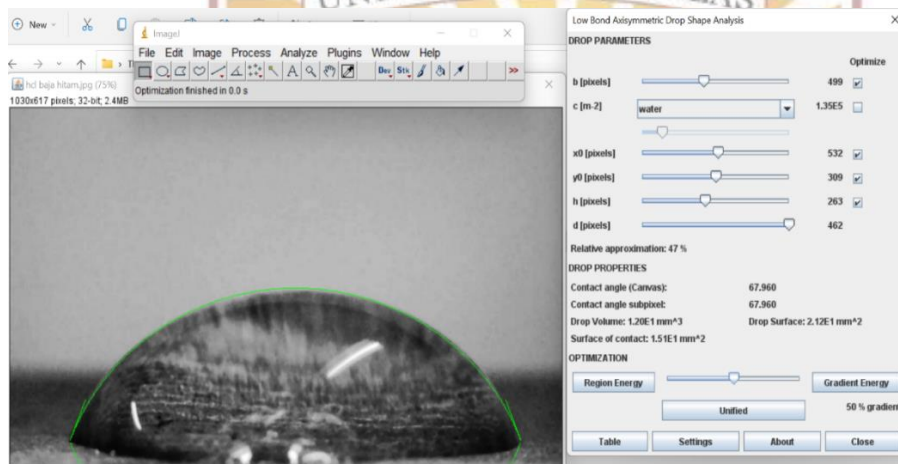


## Lampiran 24. Perbandingan sudut kontak tetesan air pada permukaan baja lunak

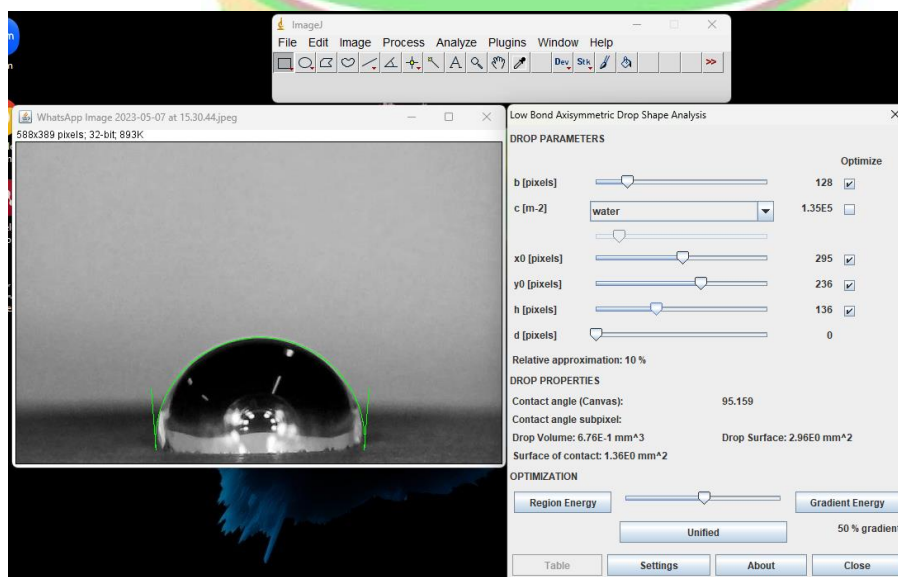
## a. Baja tanpa perlakuan



## b. Baja yang direndam dalam HCl 1M

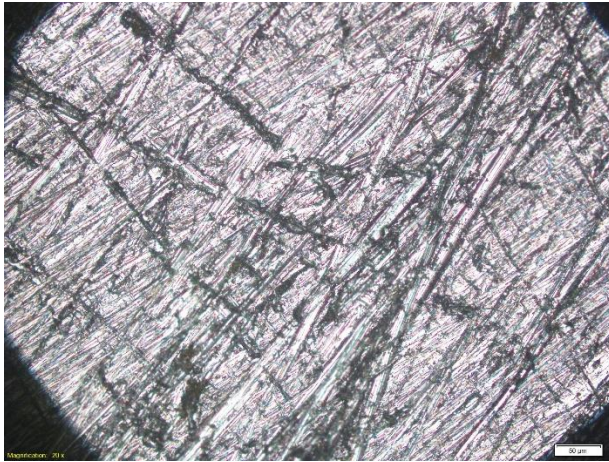


## c. Baja yang direndam dalam HCl 1M dan ekstrak lignin 10 g/L

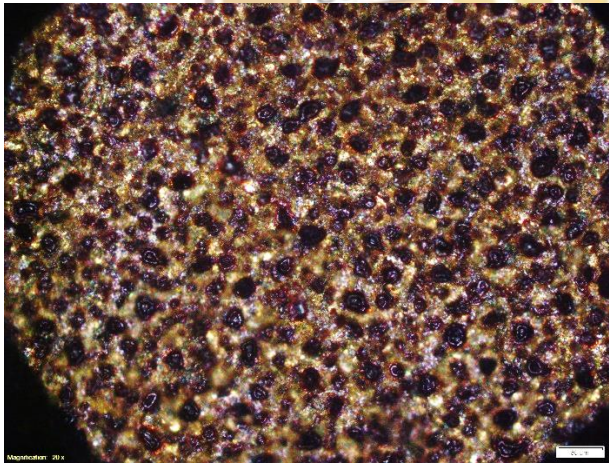


Lampiran 25. Gambar morfologi permukaan baja menggunakan mikroskop optik

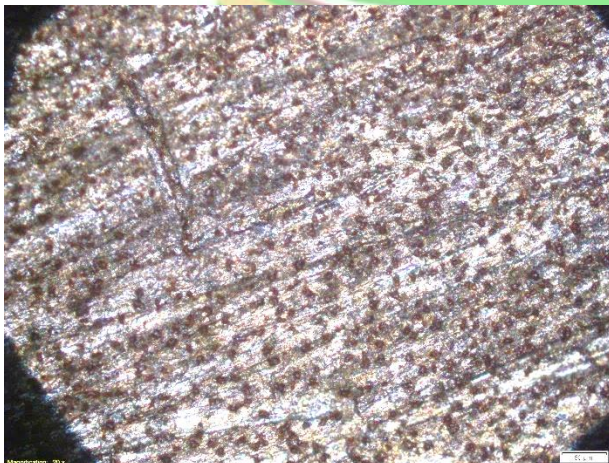
a. Baja tanpa perlakuan



b. Baja yang direndam dalam HCl 1M



c. Baja yang direndam dalam HCl 1M dan ekstrak lignin 10 g/L



## Lampiran 26. Gambar Alat yang digunakan



Spektrofotometer UV-Vis



FTIR



Mikroskop Optik



Sudut Kontak



Gerinda



Waterbath





## Lampiran 27. Gambar ekstraksi lignin dari pelepah aren



Sampel dikeringanginkan



Bubuk pelepah aren diayak dengan ukuran 80 mesh



Bubuk pelepah aren di refluks dengan NaOH 15% pada suhu 80°C selama 2 jam



Disaring dan diambil filtratnya

Diasamkan filtrat dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 40% hingga pH ±2

Disaring dan diambil endapannya



Endapan lignin



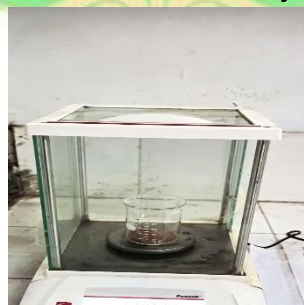
Endapan dioven pada suhu 60°C selama 4 jam



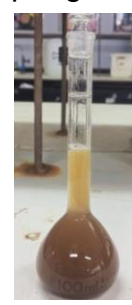
Dihaluskan dengan lumpang dan alu



Ekstrak Lignin



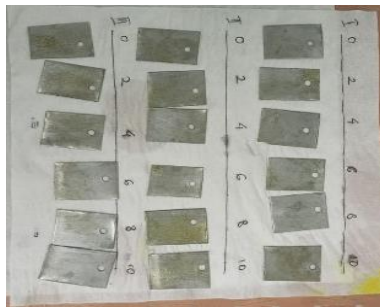
Ditimbang 5 g



Dilartukan dengan akuades untuk membuat larutan induk 50 g/L

Lampiran 28. Gambar uji laju korosi dengan metode *weight loss*

Baja direndam dalam medium korosif



Baja setelah direndam selama 7 jam

