



TUGAS AKHIR – TL 184834

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI DAN TEMPERATUR EKSTRAK
DAUN KELOR SEBAGAI INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA API 5L
GRADE B DALAM LARUTAN HCL**

RADHOVAN ZANATA
(NRP. 0251154000099)

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Vania Mitha Pratiwi, ST, MT

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2019





TUGAS AKHIR – TL 141584

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI DAN
TEMPERATUR EKSTRAK DAUN KELOR SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA API 5L GRADE B
DALAM LARUTAN HCL**

RADHOVAN ZANATA
NRP 0251154000099

Dosen Pembimbing :
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Vania Mitha Pratiwi, ST, MT

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019





LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI DAN
TEMPERATUR EKSTRAK DAUN KELOR SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA API 5L GRADE B
DALAM LARUTAN HCL**

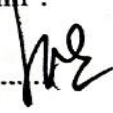
TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Pada Bidang Studi Korosi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RADHOVAN ZANATA
NRP 0251154000099

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA (Pembimbing 1).....

Vania Mitha Pratiwi, ST, MT (Pembimbing 2).....







**PENGARUH VARIASI KONSENTRASI DAN
TEMPERATUR EKSTRAK DAUN KELOR SEBAGAI
INHIBITOR ORGANIK PADA BAJA API 5L GRADE B
DALAM LARUTAN HCL.**

Nama : Radhovan Zanata
NRP : 0251154000099
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Dosen pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir, Sulistijono, DEA
Dosen pembimbing 2 : Vania Mitha Pratiwi S.T, M.T.

ABSTRAK

Inhibitor adalah salah satu komponen yang sangat penting bagi dunia industri, khususnya pada industri yang menggunakan logam-logam berat. Namun penggunaan inhibitor semakin dibatasi karena sifatnya yang toksik dan limbahnya tidak ramah lingkungan. Inhibitor organik adalah jawaban dari masalah ini, selain bersifat aman dan ramah lingkungan, inhibitor organik juga memiliki harga yang murah. Namun bukan berarti inhibitor organik tidak memiliki kelemahan, inhibitor organik cenderung tidak stabil saat digunakan pada temperatur diatas rata-rata temperatur normal. Studi ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pencampuran ekstrak daun kelor sebagai inhibitor organik terhadap laju korosi pada baja API 5L Grade B dengan variasi konsentrasi dan temperatur. Uji yang dilakukan pada penelitian ini meliputi GC-MS, FTIR, Weightloss, Electrochemical, SEM-EDX dan AAS. Dari hasil uji weightloss diperoleh laju korosi terendah pada konsentrasi sebesar 2000ppm



dengan efisiensi sebesar 81.21% dan laju korosi terendah pada temperatur sebesar 20⁰C dengan efisiensi sebesar 81.25%. melalui hasil uji polarisasi, mekanisme inhibisi inhibitor ini bertipe mixing inhibitor.

Kata Kunci: Inhibitor Organik, Daun Kelor, Baja API 5L Grade B, Konsentrasi, Temperatur



**THE EFFECT OF CONCENTRATION AND
TEMPERATURE MORINGA LEAVES EXTRACT AS
ORGANIC INHIBITOR ON STEEL API 5L GRADE B IN
HCL SOLUTION**

Name : Radhovan Zanata
NRP : 0251154000099
Departement : Material Engineering FTI-ITS
Supervisor 1 : Prof. Dr. Ir, Sulistijono, DEA
Supervisor 2 : Vania Mitha Pratiwi S.T, M.T.

ABSTRACT

Inhibitor is one of the components that are very important for the industrial world, especially for industries that use heavy metals. However, the use of inhibitors is limited, because it is toxic and not environmentally friendly. Organic inhibitors are the answer to this problem, besides being safe and environmentally friendly, organic inhibitors also have low prices. However, not an organic inhibitor, it has no disadvantages, organic inhibitors are not stable when used at normal average temperatures. This study aims to analyze the combination of Moringa leaf extract as an organic inhibitor of the corrosion rate in API 5L Grade B steel with variations in concentration and temperature. The trials conducted in this study include GC-MS, FTIR, Weightloss, Electrochemistry, SEM-EDX and AAS. From the weightloss test results obtained the lowest corrosion rate at a concentration of 2000ppm with an efficiency of 81.21% and the lowest corrosion rate at a temperature of 200C with an efficiency of 81.25%. Through the results of the polarization test, this inhibitor inhibitor is a type of mixing inhibitor.

Keyword(s): *Organic Inhibitor, Moringa Leaves, Steel API 5L Grade B, Concentration, Temperature*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Dengan mengucap puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *“Pengaruh Variasi Konsentrasi Dan Temperatur Ekstrak Daun Kelor Sebagai Inhibitor Organik Pada Baja Api 5l Grade B Dalam Larutan Hcl”* Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Penulis merasa bahwa dalam menyusun laporan ini masih menemui beberapa kesulitan dan hambatan, disamping itu juga menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan-kekurangan lainnya, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua Penulis yaitu Ibu tercinta Eninawati dan Ayah Ibnusyahadi. Berkat bantuan doa, spiritual dan finansial lah penulis bisa mengejar cita-citanya.
3. Marpriansyah selaku paman penulis yang selalu sedia memberikan support, masukan dan kritik terhadap penulis.
4. Inne Pricillia Biovinka dan M. Aldimas Prakasa selaku kakak dan adik penulis, yang mana doa dan dukungannya menjadikan kekuatan bagi penulis.



5. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir. Dengan bimbingan dan arahnya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Ibu Vania Mitha Pratiwi, ST,MT selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir dan dosen wali penulis yang telah memberikan banyak masukan, kritik, dan saran bagi penulis.
7. Semua dosen dan tendik yang ikut serta melancarkan proses penyelesaian tugas akhir.
8. Seluruh keluarga besar penulis yang tidak bisa dituliskan satu persatu.
9. Salsabila Nurjihan yang selalu memberikan support dan menemani kapanpun.
10. Sahabat kontrakjng Abrar, Razkan, Julian, Ezek, Bayuzen, Petot, Jonathan, Patrick, Rafi dan Yoessa yang selalu bersama penulis dari semester awal hingga akhir. Alhamdulillah bisa dipertemukan dengan mereka.
11. Ramdani Bella Yurista selaku partner tugas akhir penulis yang selalu saling menyemangati dan memberikan masukan.
12. Seluruh Board NACE SC ITS 2017/2018 yang telah memberikan banyak pelajaran bagi penulis.
13. Mas Alvan dan Mas Alip yang telah membagi dan memberikan ilmunya.
14. Teman-teman lab manufaktur Deni, Wahyu, Fikri, Marina dan Ditta yang telah mengizinkan penulis untuk berada di lab manufaktur.
15. Pak Rohadi selaku penjaga lab Kimia Analitik Universitas Airlangga yang telah banyak membantu dalam hal pengujian.
16. Dimas Bagus, Rizal Afif, Mas Dimas yang ikut serta melancarkan proses pengujian penulis
17. Teman-teman Palembang penulis, Zicka, Arsyi, Beta, Faqih dan Oik yang luar biasa.
18. Serta seluruh teman-teman dan pihak yang telah memberikan semangat serta partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 07 Januari 2019

Penulis,



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Korosi	7
2.2 Jenis-Jenis Korosi.....	10
2.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi Laju Korosi	13
2.4 Pengaruh HCl terhadap Korosi.....	21
2.5 Baja API 5L.....	22
2.6 Mekanisme Korosi pada Baja Karbon Rendah	24
2.7 Korosi Baja pada HCl.....	25
2.8 Pengendalian Korosi.....	25



2.9 Inhibitor	28
2.10 Klasifikasi Inhibitor.....	30
2.10.1 Inhibitor Anorganik.....	30
2.10.2 Inhibitor Organik.....	34
2.11 Kandungan pada Daun Kelor (<i>Moringa Oleifera</i>)	42
2.11.1 Kandungan Tannin	42
2.11.2 Kandungan Antioksidan	44
2.12 Pengukuran Laju Korosi.....	45
2.12.1 Metode Kehilangan Berat (Weightloss)	46
2.12.2 Polarisasi Tafel	47
2.12.3 Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)	49
2.13 Penelitian Sebelumnya	51
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	53
3.2 Prosedur Penelitian.....	54
3.2.1 Studi Literatur.....	55
3.2.2 Penentuan Konsentrasi Inhibitor	55
3.2.3 Experimental	55
3.2.4 Peralatan Penelitian	56
3.2.5 Bahan Penelitian.....	56
3.2.6 Preparasi Inhibitor	57
3.2.7 Preparasi Spesimen.....	58
3.2.8 Preparasi Larutan Elektrolit.....	59
3.2.9 Pengujian.....	59



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS

3.3 Rancangan Jadwal Kegiatan.....	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	69
4.1 Analisa Data	69
4.1.1 Hasil Pengujian GC-MS	69
4.1.2 Hasil Pengujian FTIR	70
4.1.3 Hasil Pengujian Weightloss.....	72
4.1.4 Hasil Pengujian Potentiodynamic.....	76
4.1.5 Hasil Pengujian Electrochemical Impedance Spectrometry	78
4.1.6 Adsorpsi Isotherm	80
4.1.7 Pengujian SEM dan EDX.....	81
4.1.8 Hasil Pengujiann AAS.....	85
4.2 Pembahasan.....	87
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	93
V.1 Kesimpulan.....	93
V.2 Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN	99



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus penggunaan baja	7
Gambar 2. 2 Sel korosi pada elektroda tembaga dalam larutan CuSO ₄	9
Gambar 2. 3 Pengaruh daya oksidasi terhadap laju korosi	15
Gambar 2. 4 Daya oksidasi terhadap jenis material	16
Gambar 2. 5 Pengaruh kadar oksigen terhadap laju korosi	17
Gambar 2. 6 Pengaruh kecepatan angin terhadap laju korosi.....	18
Gambar 2. 7 Pengaruh temperature terhadap laju korosi	19
Gambar 2. 8 Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi	20
Gambar 2. 9 Sel galvanik pada logam platinum dan seng	21
Gambar 2. 10 Klasifikasi inhibitor	30
Gambar 2. 11 Diagram polarisasi anodik inhibitor	31
Gambar 2. 12 Mekanisme inhibitor anodik	32
Gambar 2. 13 Polarisasi inhibitor katodik	33
Gambar 2. 14 Mekanisme efek katodik inhibitor di sistem korosi	34
Gambar 2. 15 Polarisasi inhibitor campuran	35
Gambar 2. 16 Mekanisme inhibitor organik.....	36
Gambar 2. 17 Ilustrasi physical adsorption	38
Gambar 2. 18 Ilustrasi chemisorption	39
Gambar 2. 19 Daun tanaman kelor (Moringa Oleifera)	43
Gambar 2. 20 Contoh Senyawa Asam Amino (Tarek,2013).....	45
Gambar 2. 21 Skema kurva polarisasi.....	48
Gambar 2. 22 Spektrum EIS aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan oleh hambatan	50
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	54
Gambar 3. 2 Rotary evaporator	58
Gambar 3. 3 Alat pengujian GC-MS.....	60
Gambar 3. 4 Alat pengujian polarisasi	62



Gambar 3. 5 Alat pengujian FTIR.....	65
Gambar 3. 6 Alat uji SEM-EDX	66
Gambar 3. 7 Alat uji AAS	67
Gambar 4. 1 Hasil pengujian GC-MS	69
Gambar 4. 2 Hasil Spektrum FTIR inhibitor daun kelor	71
Gambar 4. 3 Efisiensi inhibitor daun kelor uji weightloss	74
Gambar 4. 4 Efisiensi inhibitor pada temperatur tertentu	75
Gambar 4. 5 Kurva tafel sampel tanpa inhibitor dan dengan inhibitor	77
Gambar 4. 6 Sirkuit equivalent pada pengujian EIS	79
Gambar 4. 7 Kurva Nyquist hasil EIS kedua sampel	79
Gambar 4. 8 Hasil SEM pada sampel tanpa perlakuan dengan perbesaran 100x dan 500x.....	82
Gambar 4. 9 Hasil SEM pada sampel tanpa inhibitor dengan perbesaran 500x dan 2000x.....	82
Gambar 4. 10 Hasil SEM pada sampel dengan inhibitor dengan perbesaran 500x dan 2000x.....	83
Gambar 4. 11 Hasil EDX pada sampel tanpa perlakuan	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 4. 12 Hasil EDX sampel tanpa inhibitor.....	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 4. 13 Hasil EDX sampel dengan inhibitor.....	Error!
Bookmark not defined.	
Gambar 4. 14 Kurva kalibrasi antara absorpsi dan konsentrasi ..	86
Gambar 4. 15 Mekanisme inhibisi inhibitor daun kelor.....	89



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi kimia baja API 5L grade B	24
Tabel 2. 2 Perbandingan adsorbs fisik dan adsorbs kimia (Firmansyah, 2011)	40
Tabel 2. 3 Daftar penelitian sebelumnya.....	51
Tabel 3. 1 Parameter pengujian potentiodynamic	63
Tabel 3. 2 Parameter pengujian EIS	64
Tabel 3. 3 Rancangan jadwal kegiatan	68
Tabel 4. 1 Hasil Intepretasi pada uji GC-MS	70
Tabel 4. 2 Gugus Fungsi FTIR Inhibitor setelah Immerse	71
Tabel 4. 3 Laju korosi dan efisiensi inhibisi masing masing inhibitor	73
Tabel 4. 4 Laju korosi dan efisiensi inhibisi masing masing temperature.....	75
Tabel 4. 5 Parameter hasil uji potentiodynamic pada sampel tanpa inhibitor dan dengan inhibitor	78
Tabel 4. 6 Parameter Hasil uji EIS pada sampel tanpa inhibitor dan dengan inhibitor.....	80
Tabel 4. 7 Nilai energi bebas adsorpsi pada uji weightloss.....	81
Tabel 4. 8 Metode kalibrasi untuk mendapatkan konsentrasi Fe 85	
Tabel 4. 9 Konsentrasi Fe yang didapatkan.....	86

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, pergerakan dan pertumbuhan industri melaju pesat. Mulai dari industri rumahan hingga industri massal yang bergerak di berbagai bidang. Seiring dengan perkembangan sektor tersebut, dibutuhkan pula alat-alat dan kelengkapan yang memadai untuk menunjang hasil produksi. Baja adalah salah satu material yang sangat banyak digunakan pada industri, selain karena sifat dan karakteristiknya yang baik, baja juga memiliki nilai beli yang tergolong ekonomis dan memiliki jangka pemakaian yang lama. Baja API 5L Grade B adalah salah satu jenis baja yang banyak digunakan pada sektor minyak dan gas. Sifat dan ketahanan yang baik menjadikan baja API 5L Grade B pilihan yang tepat untuk kebutuhan industri. Namun dibalik keunggulan sifatnya, tahanan korosi baja ini tergolong rendah dibandingkan baja jenis lainnya, seperti weathered steel, high alloy steel ataupun stainless steel (API 5L, 2004).

Korosi sendiri adalah sebuah proses atau mekanisme kerusakan dari reaksi kimia yang terjadi pada logam, korosi tidak dapat dihindarkan karena proses alami suatu baja yang lambat laun akan terkorosi. Hanya saja korosi dapat dikendalikan dengan berbagai cara ataupun metode. Upaya ini dilakukan dengan maksud agar laju korosi dapat dikendalikan dan menambah umur dari suatu logam yang diinginkan. Maka dari itu, pengendalian korosi sangat dibutuhkan (Mars G. Fontana)

Salah satu jenis pengendalian korosi adalah dengan menggunakan inhibitor. Inhibitor mengendalikan korosi dengan cara ditambahkan dalam jumlah sedikit sehingga menurunkan laju korosi dari lingkungan tersebut. Inhibitor banyak digunakan pada



sektor industri karena sifatnya yang simpel dan efektif. Umumnya, inhibitor yang digunakan adalah inhibitor anorganik dengan kandungan molibdat, fosfat, silica dan triazol. Namun ada berbagai hal yang menjadi kendala dalam penggunaan inhibitor di sektor industri. Pertama, harganya yang tergolong mahal. Kedua, limbah hasil inhibitor bersifat racun dan dapat membahayakan lingkungan, sehingga penggunaannya harus dibatasi. Dengan berbagai kendala tersebut, inhibitor organik dapat menjadi jalan keluar. Selain sifatnya yang mudah didapat, inhibitor organik juga bersifat ramah lingkungan sehingga limbah hasil buangnya tidak berbahaya dan penggunaannya dapat dioptimalkan.

Beberapa ekstrak tanaman mengandung tannins, alkaloids, saponins, asam amino pigment dan protein yang dapat menghambat laju korosi (Martinez dan Stern, 2001; Martinez, 2002; Kosar et al., 2005; Oguzie et al, 2006). Tannin dapat diperoleh hampir dari semua jenis tumbuhan, dengan kadar yang berbeda beda, salah satunya adalah daun kelor (*Moringa Oleifera*). Tanaman ini memiliki kandungan vitamin A, C dan E yang tinggi (Hekmat et al, 2015) serta kandungan asam amino yang tinggi pula (Moyo, 2011). Menurut Yang et al. (2006), daun kelor (*Moringa Oleifera*) memiliki kandungan antioksidan tinggi, bahkan lebih tinggi dibandingkan stroberi. Kandungan-kandungan inilah yang dapat menjadikan daun kelor (*Moringa Oleifera*) sebagai inhibitor organik.

Indonesia sebagai negara tropis, menjadi salah satu negara yang ditumbuhi subur oleh tanaman kelor. Berdasarkan penelitian (Desiawati, 2013) hanya 12% dari penduduk Indonesia yang mengetahui dan memanfaatkan daun kelor (*Moringa Oleifera*). Ini berarti pemanfaatan tanaman kelor (*Moringa Oleifera*) sendiri masih kurang, padahal kandungan-kandungan yang tinggi pada tanaman kelor dapat dimanfaatkan diberbagai sektor, salah satunya adalah di sektor industri.



Pada penelitian kali ini bertujuan untuk membuktikan apakah daun kelor dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor organik pada baja karbon rendah dan bagaimana efeknya dengan variasi temperatur. Tanaman kelor (*Moringa Oleifera*) ini dapat menjadi pelopor inhibitor organik sebagai pengganti inhibitor anorganik, yang mana inhibitor anorganik sudah dibatasi penggunaannya dikarenakan bersifat toksik. Tanaman kelor (*Moringa Oleifera*) sebagai inhibitor organik diharapkan dapat menjadi inhibitor yang memiliki efisiensi tinggi, murah, mudah didapat dan ramah lingkungan.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan ekstrak daun kelor (*Moringa Oleifera*) dan temperatur terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan HCl.
2. Bagaimana mekanisme inhibisi dari ekstrak daun kelor (*Moringa Oleifera*) yang diaplikasikan sebagai inhibitor korosi pada baja API 5L grade B di larutan HCl.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat beberapa hal sebagai batasan masalah, yaitu:

1. Komposisi kimia, dimensi dan kehalusan permukaan tiap spesimen baja karbon API 5L grade B dianggap homogen.
2. Perubahan terhadap volume dan pH larutan sepanjang penelitian diabaikan.
3. Kecepatan fluida diabaikan.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:



1. Menganalisa pengaruh variasi penambahan ekstrak daun kelor (*Moringa Oleifera*) dan temperatur terhadap efisiensi inhibitor pada baja API 5L grade B di lingkungan HCl.
2. Menganalisa mekanisme inhibisi dari ekstrak daun kelor (*Moringa Oleifera*) yang diaplikasikan sebagai inhibitor korosi pada baja API 5L grade B di lingkungan HCl.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah manfaat yang diperoleh dari penelitian ini:

1. Pemanfaatan ekstrak daun kelor (*Moringa Oleifera*) sebagai bio inhibitor yang diaplikasikan pada baja korban dalam dunia industri.
2. Memberikan pengetahuan mengenai potensi inhibitor yang diperoleh dari ekstrak daun kelor (*Moringa Oleifera*) berdasarkan kandungan gugus serta mekanisme proteksinya melalui pengujian elektrokimia dan karakterisasinya.
3. Sebagai penambah wawasan mengenai pengendalian korosi dengan bahan green inhibitor yang dapat diperoleh dari alam Indonesia.
4. Sebagai pemanfaatan daun kelor (*Moringa Oleifera*) menjadi inhibitor organik yang bermanfaat dalam dunia industri.

1.6 Sistematika Penelitian

Berikut adalah sistematika penulisan pada penelitian ini.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dari literatur yang berkaitan dan meunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi diagram alir penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang data yang diperoleh ketika penelitian, dilengkapi dengan analisa serta pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian, serta saran yang perlu diberikan serta kemajuan penelitian kedepannya.

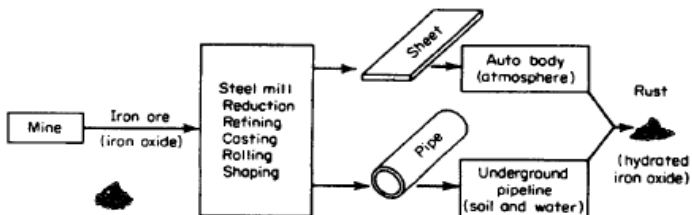
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi

Korosi dijelaskan sebagai kerusakan atau penurunan kualitas suatu material dikarenakan reaksi yang terjadi pada lingkungan. Beberapa ahli beranggapan bahwa definisi korosi harus dibatasi untuk logam, tetapi ada juga yang beranggapan korosi harus dipertimbangkan baik logam maupun bukan logam untuk solusi masalah yang diberikan. (Mars G. Fontana). Korosi dapat memengaruhi *bearing capacity* suatu material, sehingga lambat laun material dapat mengalami kegagalan ataupun kerusakan. Metal, selayaknya benda lain, mengalami pelapukan /penguraian. Namun pelapukan ini dalam bentuk korosi. Material yang berasal dari bijih besi, lalu diproses menjadi barang yang siap digunakan dan lalu lama kelamaan akan mengalami korosi dan kembali lagi ke alam, selayaknya bentuk awal dari metal. Menurut Jones (1997), dalam banyak hal, korosi tidak dapat dihindarkan. Hampir semua material apabila berinteraksi dengan lingkungannya secara perlahan tapi pasti, akan mengalami degradasi mutu bahan, pengertian ini didefinisikan sebagai korosi. Proses korosi merupakan suatu gejala alamiah yang merupakan konsekuensi dari siklus hidup.



Gambar 2. 1 Siklus penggunaan baja (Fontana, 1987)



Faktor yang memengaruhi korosi antara lain (Candra, 2011):

1. Logam: struktur atom logam atau paduannya, komposisi, ketidakteraturan mikroskopik dan makroskopik, tegangan, dll.
2. Lingkungan: kondisi lingkungan seperti sifat kimia, konsentrasi, pengotor, tekanan, temperatur, kecepatan, serta kondisi spesifik lainnya yang dapat mempengaruhi kecepatan dan bentuk korosi.
3. Permukaan logam/lingkungan: adanya lapisan oksida dapat memengaruhi proses korosi.

Terdapat dua jenis reaksi yang terjadi pada korosi, yaitu reaksi kimia dan reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia terjadi pada korosi dengan lingkungan yang bertemperatur rendah, sedangkan reaksi kimia pada lingkungan yang bertemperatur tinggi ($>1000^{\circ}\text{C}$). Pembentukan sel korosi, pada umumnya disebabkan oleh empat komponen, yaitu:

1. Anoda

Anoda merupakan salah satu elektroda logam dalam sel elektrolitik sebagai terminal negatif sel. Elektron yang dilepaskan pada anoda, yang merupakan logam yang lebih reaktif. Elektron tidak larut dalam elektrolit likuid sehingga elektron mengalir melalui sambungan kontak metalik menuju katoda. Contohnya di dalam baterai, *casing* Zn berfungsi sebagai anoda. Selain itu, dalam sel galvanik, Zn adalah anoda karena terjadi reaksi oksidasi dan pelepasan elektron. Maka pada proses ini anoda akan teroksidasi atau terkorosi.

2. Katoda

Katoda merupakan salah satu elektroda logam yang mengalami reaksi reduksi dalam sel elektrolitik



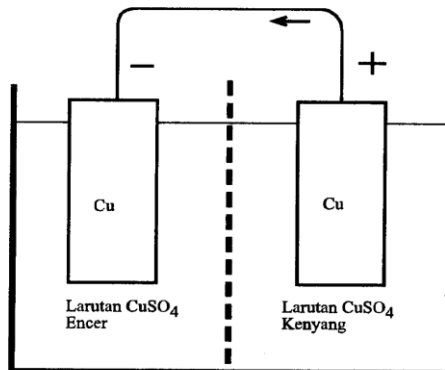
sebagai terminal positif sel. Contoh dari katoda adalah elektroda karbon pada baterai dan elektroda tembaga pada sel Galvanik. Pada katoda menunjukkan reduksi ion hidrogen. Elektron selalu merupakan zat pereduksi.

3. Elektrolit

Elektrolit merupakan salah satu syarat terjadinya korosi yang berupa larutan konduktif, seperti larutan garam. Akan tetapi, air murni merupakan konduktor listrik yang buruk. Muatan listrik positif sebagai kation bergerak dari anoda menuju katoda melalui elektrolit. Contohnya ion Zn^{2+} yang larut dari anoda Zn yang kemudian membawa arus positif melalui elektrolit.

4. Kontak Metalik

Kontak Metalik terjadi ketika dua logam saling terhubung, sehingga memungkinkan terjadinya aliran elektron dari anoda menuju katoda dan proses oksidasi pun terjadi.



Gambar 2. 2 Sel korosi pada elektroda tembaga dalam larutan CuSO₄ (Fontana, 1987)



2.2 Jenis-Jenis Korosi

Jenis korosi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam, salah satunya adalah berdasarkan visual observation, tampilan dari hasil korosi pada metal tersebut. Beberapa diantaranya cukup unik, tapi kebanyakan saling mempengaruhi satu sama lain. Terdapat 8 jenis korosi, yaitu: uniform corrosion; korosi galvanis; korosi celah; korosi sumuran; korosi intergranular; selective leaching or paerting; korosi erosi; dan korosi tegangan. (Mars G. Fontana)

1. *Uniform Corrosion*

Serangan merata atau uniform attack adalah kerusakan pada metal yang dalam skala besar. Namun korosi jenis ini tidak terlalu menjadi masalah di dalam teknisnya, karena umur dari peralatan dapat secara akurat ditentukan berdasarkan pengujian. Korosi jenis ini dapat dikendalikan dengan cara pemilihan material yang tepat ,termasuk juga coating; inhibitor; ataupun proteksi katodik.

2. Korosi Galvanis

Perbedaan potensial biasanya terjadi pada dua jenis metal yang berbeda ketika keduanya terpapar pada lingkungan yang korosif ataupun elektrolit. Ketika kedua logam ini saling berkontak ataupun terhubung secara arus listrik, perbedaan potensial ini membuat elektron mengalir diantara kedua logam tersebut. Logam yang nilai kereaktifan rendah akan menjadi anoda dan teroksidasi, logam yang lainnya akan menjadi katoda dan tereduksi. Karena arus listrik dan adanya perbedaan metal, maka korosi jenis ini disebut juga korosi galvanis.

Proses korosi ini terjadi secara elektrokimia. Sebagai contoh, hubungan pipa bawah tanah dengan



kolom rak pipa melalui clamp. Sedangkan kolom rak pipa terbuat dari tembaga. Karenanya terjadilah hubungan langsung antara pipa bawah tanah dengan arde tembaga tersebut dalam satu elektrolit yaitu tanah basah yang konduktif. Maka terjadilah proses korosi galvanis dengan pipa bawah tanah sebagai anodanya. Terjadilah serangan korosi disebelah luar pipa tersebut. Jika ditinjau pada *electromotive series* jelas bahwa baja lebih tinggi letaknya dibandingkan tembaga, jadi baja pada kondisi ini menjadi lebih anodik terhadap paduan tembaga, karenalah terjadi korosi galvanis akibatnya tube sheet baja tersebut berkarat dan kehilangan metal pada permukaannya.

3. Korosi Celah

Korosi jenis ini biasanya terjadi pada daerah tertentu atau disebut juga korosi lokal. Disebabkan karena adanya lubang/ruang kecil yang menyebabkan terhambatnya suatu larutan, permukaan yang tidak merata, sambungan, adanya pengotor pada permukaan dan celah antara baut-sekrup. Hasilnya, korosi jenis ini disebut juga dengan korosi celah atau biasanya disebut dengan deposit/gasket corrosion.

Celah-celah ini sangat banyak pada kontruksi karoseri kendaraan karena fabrikasinya menggunakan pengelasan electric resistance sistem spot pada pelat tipis yang disusun bertumpu (*overlap*). *Overlap* inilah yang menimbulkan celah-celah. Jika kendaraan dipakai sewaktu hujan, ataaau terkena percikan air laut atau air buangan, maka apabila celah tidak tertutup oleh zat anti korosi (*taffcote*) kendaraan tersebut akan cepat mengalami proses korosi dan akan mengalami perforasi atau berlubang-lubang akibat serangan korosi celah.



4. Korosi Sumuran

Korosi sumuran adalah jenis korosi yang menyerang titik tertentu yang menyebabkan adanya lubang pada logam tersebut. Lubang lubang ini bisa berukuran kecil ataupun besar, tapi dari kebanyakan kasus ukurannya relatif kecil. Korosi sumuran biasanya terisolasi dan sangat berdekatan antara satu sama lain sehingga terlihat seperti permukaan yang kasar. Umumnya korosi sumuran dijelaskan sebagai lubang atau kavitas dengan diameter permukaan sama atau kurang dari kedalamannya.

5. Korosi Batas Butir

Efek dari batas butir terhadap penggunaan logam sebenarnya kecil atau tidak ada sama sekali. Jika logam terkorosi, uniform corrosion akan terjadi karena batas butir biasanya hanya sedikit lebihreaktif dibanding matriksnya. Namun, dalam beberapa kondisi, butir akan menjadi lebih reaktif dan batasnya akan mengalami korosi. Korosi terpusat dan terjadi pada batas butir dengan tingkat korosi yang kecil disebut juga dengan korosi batas butir. Paduannya menjadi tidak saling menyatu dan kehilangan kekuatannya.

6. *Selective Leaching*

Selective leaching adalah pelepasan suatu elemen dari paduan solid dikarenakan proses korosi. Contoh yang paling banyak pada korosi jenis ini adalah pelepasan zinc pada brass alloys (dezincification). Proses yang sama terjadi pada paduan lainnya, yang mana aluminium, besi, cobalt, krom atau elemen lainnya dihilangkan. *Selective leaching* adalah istilah umum untuk menggambarkan prosesnya. Jenis korosi ini berbeda dengan jenis lainnya. Korosi ini menyangkut larutnya suatu komponen dari zat



paduan sehingga korosi ini disebut pelarutan selektif (*Selective Dissolution*) atau disebut pula ‘*Parting*’ atau ‘*de alloying*’.

Zat komponen yang larut selalu bersifat anodik terhadap komponen yang lain (*matrix*). Walaupun secara visual tampak perubahan warna pada permukaan paduan namun tidak tampak adanya kehilangan materi berupa takik, perubahan dimensi, retak atau alur. Bentuk permukaannya tampak tetap tidak berubah termasuk tingkat kehalusan atau kekasarannya. Namun sebenarnya berat bagian yang terkena jenis karat ini menjadi berkurang, berpori-pori dan yang terpenting adalah kehilangan sifat mekanisnya semula, yakni menjadi getas dan mempunyai kekuatan tarik sangat rendah.

7. Korosi Erosi

Korosi jenis ini adalah bertambahnya kecepatan dari kerusakan metal dikarenakan gerakan dari fluida yang koosif dengan permukaan logam. Biasanya gerakan ini lumayan cepat dan abrasi akan terlibat pada proses ini. Logam akan terlepas dari permukaannya sebagai ion yang terlarut, atau akan membentuk padatan lainnya yang ikut terbawa oleh aliran fluida (Mars G. Fontana). Terkadang aliran dari fluida dapat memperlambat laju korosi, contohnya seperti aliran yang terjadi pada lubang atau ruang yang menyebabkan fluida tidak bergerak, tapi ini bukan jenis korosi erosi karena kerusakan tidak terlibat.

2.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi Laju Korosi

Faktor-faktor gangguan udara seperti temperatur, kondisi cuaca dan kelembaban relatif serta bentuk dari permukaan dan



kondisi permukaan yang merupakan penyebab basahnya permukaan, adalah faktor yang sangat penting dalam tingkat penyerapan korosi yang berpengaruh terhadap laju korosi itu sendiri. Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi :

1. Polarisasi

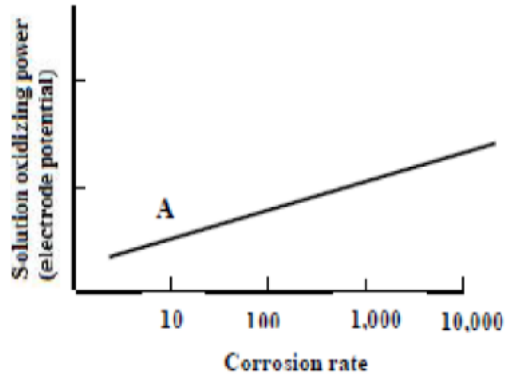
Suatu reaksi elektrokimia dikatakan terpolarisasi apabila terjadi proses perlambatan dari laju reaksi kimia. Polarisasi bertindak sebagai pelapis tambahan, dan mempengaruhi tingkat pH dan konsentrasi ion pada elektrolit. Kecepatan pada reaksi elektrokimia terbatas oleh bermacam-macam factor fisis dan kimia. Oleh karena itu, reaksi elektrokimia dapat dikatakan sebagai polarisasi atau penurunan yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Polarisasi aktivasi adalah polarisasi yang disebabkan oleh faktor pelambat yang berasal dari reaksi elektrokimia itu sendiri, yakni terjadinya terbentuknya gas hidrogen di katoda. Polarisasi konsentrasi menyangkut proses perlambatan reaksi elektro kimiawi sebagai akibat dari perubahan konsentrasi di dalam larutan di dekat permukaan metal. Aktivasi polarisasi biasanya dapat dikontrol pada media yang mengandung konsentrasi tinggi dan pada media pengkorosian aktif. Konsentrasi polarisasi pada umumnya didominasi ketika konsentrasi pada proses reduksi adalah kecil. Konsentrasi yang berhubungan dengan logam biasanya kecil dan bisa diabaikan. Konsentrasi yang berhubungan dengan logam biasanya kecil dan bisa diabaikan. Konsentrasi polarisasi sangat penting hanya pada reaksi reduksi.

2. Pasivasi

Pada dasarnya, pasivitas adalah lepasnya suatu unsure akibat reaksi kimia yang dialami oleh beberapa logam dan paduan pada suatu kondisi lingkungan khusus. Logam dan paduan yang mengalami pasivitas di antaranya besi, nikel, silikon, kromium, titanium, dan paduan-paduannya. Observasi juga telah dilakukan



untuk mengetahui efek pasivitas pada beberapa logam, di antaranya, *zinc*, *cadmium*, *tin*, dan *thorium*.



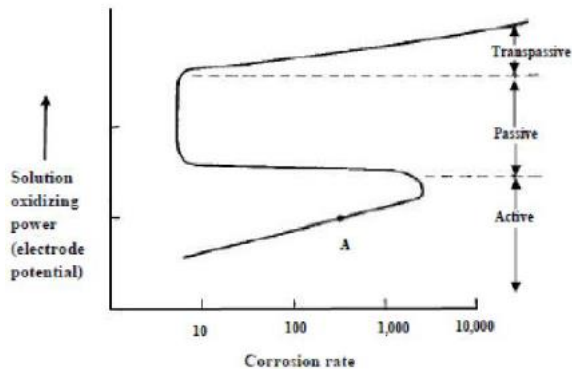
Gambar 2. 3 Pengaruh daya oksidasi terhadap laju korosi (Fontana, 1987)

Pada Gambar 2.3 diilustrasikan suatu pasivitas yang dialami oleh logam, dimana laju korosi logam tersebut dipengaruhi oleh daya oksidasi dengan menggunakan potensial elektron. Gambar tersebut mengilustrasikan bahwa sebuah logam dicelupkan pada lingkungan asam yang terbebas dari kandungan udara, lingkungan tersebut ditambahkan daya oksidasi pada titik A dan laju korosinya digambarkan dengan sebuah garis pada gambar tersebut. Jika daya oksidasi pada lingkungan ini meningkat, maka laju korosi pada logam tersebut juga meningkat (Sankara, 2014)

Gambar 2.4 mengilustrasikan jenis-jenis material berdasarkan laju korosinya pada penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial. Jenis-jenis material dibagi menjadi tiga kategori yaitu aktif, pasif, dan transpatif. Untuk material pada daerah aktif biasanya daerah ini identik dengan logam pada umumnya, dimana penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial diikuti dengan penambahan laju



korosi. Untuk material yang berada pada daerah pasif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada material tersebut. Sedangkan untuk daerah transpatif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi, namun untuk penambahan daya oksidasi yang besar, laju korosi material tersebut juga ikut bertambah (Sankara, 2014).



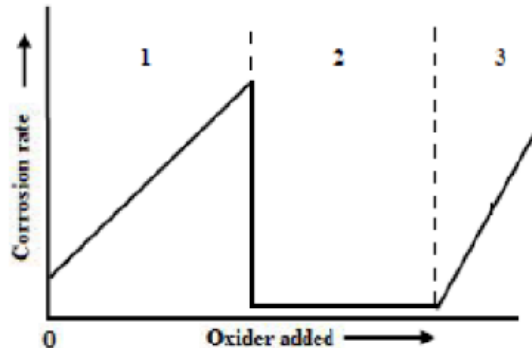
Gambar 2. 4 Daya oksidasi terhadap jenis material (Fontana, 1987)

3. Konsentrasi Oksigen

Pengaruh oksigen pada laju korosi dapat digambarkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Bentuk grafik tersebut dibagi menjadi tiga bagian yang berbeda. Untuk daerah 1 adalah karakteristik pada logam normal dan juga pada logam aktif-pasif di mana logam tersebut berada pada daerah aktif. Untuk logam yang ditunjukkan pada transisi aktif-pasif, sifat pasif dicapai bila kuantitas oksigen tercukupi. Bertambah cepatnya laju korosi seiring dengan bertambahnya konsentrasi oksigen yang ditambahkan hal ini digambarkan pada daerah 1 dimana karakteristik daerah ini dimiliki oleh logam monel dan tembaga



pada lingkungan acid solution yang mengandung oksigen (Sankara, 2014).



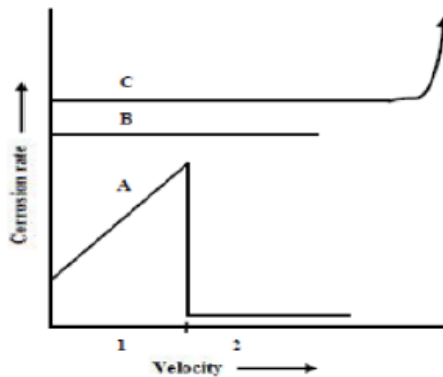
Gambar 2. 5 Pengaruh kadar oksigen terhadap laju korosi (Fontana, 1987)

4. Kecepatan Angin

Pengaruh kecepatan angin terhadap laju korosi adalah seperti pengaruh penambahan oksigen terhadap laju korosi. Gambar 2.6 menunjukkan ciri khas pengaruh kecepatan angin terhadap laju reaksi. Untuk proses korosi yang dikendalikan oleh aktifasi polarisasi maka kecepatan tidak memiliki pengaruh terhadap laju reaksi, seperti yang diilustrasikan oleh kurva B. Jika proses korosi dikendalikan oleh difusi katodik. Ketika kecepatan meningkat maka laju korosi meningkat seperti yang ditunjukkan pada kurva A bagian 1. Pengaruh ini umumnya terjadi ketika adanya zat pengoksidasi dalam jumlah yang sedikit, seperti halnya oksigen yang terlarut dalam larutan asam atau air. Jika proses mengalami difusi dan logam bersifat pasif maka besarnya laju reaksi akan digambarkan oleh kurva A bagian 1 dan 2. Beberapa logam memiliki ketahanan korosi pada medium tertentu karena terbentuknya lapisan pelindung yang sangat besar. Ketika material



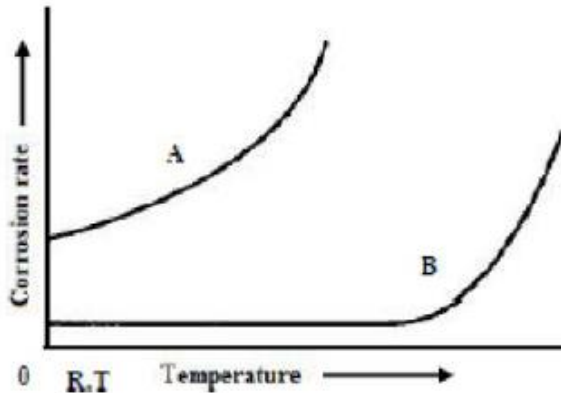
yang terkena sinar matahari dan terdapat angin yang sangat besar maka hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan pelindung tersebut, sehingga laju korosi meningkat. Seperti yang ditunjukkan pada kurva C (Sankara, 2014).



Gambar 2. 6 Pengaruh kecepatan angin terhadap laju korosi (Fontana, 1987)

5. Pengaruh Temperatur

Peningkatan temperatur dapat meningkatkan laju reaksi kimia. Gambar 2.7 menggambarkan pengamatan dua keadaan umum pengaruh temperatur terhadap laju korosi logam. Kurva A menunjukkan kenaikan yang sangat cepat dalam laju korosi disebabkan oleh kenaikan temperatur. Kurva B menggambarkan bahwa laju reaksi tidak terlalu dipengaruhi oleh kenaikan temperatur, yaitu pengaruh temperatur diabaikan terhadap laju reaksi meskipun terjadi dalam temperatur yang sangat tinggi. Sebagai contoh kasus yang terjadi pada baja karbon, monel, dan nikel dalam lingkungan yang asam (Sankara, 2014).



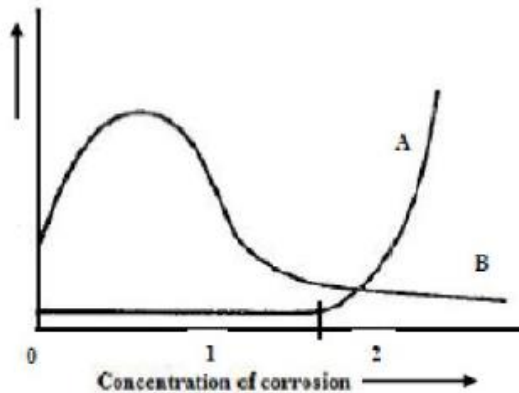
Gambar 2. 7 Pengaruh temperature terhadap laju korosi (Fontana, 1987)

6. Konsentrasi Korosif

Gambar 2.8 menunjukkan konsentrasi terhadap laju reaksi. Sebagai catatan kurva A memiliki dua bagian, yaitu 1 dan 2. Kebanyakan material menunjukkan bahwa efek konsentrasi korosif tidak terlalu berdampak pada laju korosi. Seperti yang ditunjukkan pada kurva bagian pertama. Adapun material yang lain menunjukkan perilaku yang berbeda ketika konsentrasi korosif meningkat mengakibatkan laju korosi meningkat. Timah adalah contoh yang menunjukkan pengaruh tersebut. Pada konsentrasi yang rendah timah membentuk lapisan pelindung, namun pada konsentrasi yang tinggi lapisan pelindung tersebut larut sehingga laju korosi bertambah seiring dengan pertambahan konsentrasi korosif. Sifat asam yang larut dalam semua konsentrasi air, sering menghasilkan kurva yang mirip dengan kurva B. awalnya pada kurva B, kenaikan konsentrasi korosi menyebabkan laju korosi juga meningkat. Terutama karena fakta menunjukkan bahwa sejumlah ion hydrogen yang bersifat aktif akan bertambah banyak



karena konsentrasi asam juga meningkat. Namun karena konsentrasi asam terus meningkat, laju korosi mencapai titik maksimum dan akhirnya akan menurun. Hal ini tidak diragukan lagi karena fakta, bahwa konsentrasi yang sangat tinggi maka ionisasi asam akan berkurang. Karena ini, kebanyakan larutan asam seperti *sulfuric*, *acetic*, *hydrofluoric*, dan yang lainnya pada hakekatnya tidak dapat bereaksi pada kondisi murni atau 100% konsentrasi (Sankara, 2014).



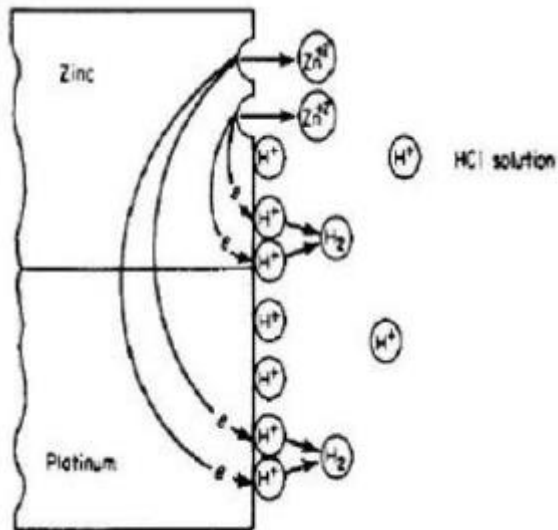
Gambar 2. 8 Pengaruh konsentrasi terhadap laju korosi (Fontana, 1987)

7. Pengaruh Pasangan Galvanik

Pada pemanfaatan material secara umum, kontak antara material-material yang berbeda adalah sesuatu yang sulit untuk dihindarkan. Di dalam proses aliran fluida dan pemipaan, perbedaan material dan paduan sering terjadi kontak antara material tersebut. Sepotong seng dicelupkan ke dalam larutan asam klorida dan disambungkan dengan logam mulia seperti platinum. Karena platinum tidak dapat bereaksi dalam medium tersebut, hal itu akan menyebabkan terjadinya evolusi ion hidrogen di



permukaan platinum tersebut. Selanjutnya, evolusi hidrogen lebih mudah terjadi pada permukaan platina dibandingkan dengan seng. Akibat dari pasangan galvanik pada contoh tersebut adalah hampir identic dengan penambahan oksidator pada larutan korosif. Dalam kasus tersebut logam akan kehilangan elektronnya dan karenanya tingkat pelarutan logam juga meningkat (Sankara, 2014).



Gambar 2. 9 Sel galvanik pada logam platinum dan seng (Fontana, 1987)

2.4 Pengaruh HCl terhadap Korosi

Korosi pada baja karbon antara lain dipengaruhi oleh agresif seperti ion klorida (Cl^-). Konsentrasi ion klorida yang semakin tinggi akan semakin meningkatkan kecenderungan korosi. Mekanisme korosi baja pada HCl yaitu laju korosi tinggi pada semua konsentrasi asam di $\text{pH} < 3$. Ion klorida umumnya bertindak sebagai ion triger atau ion agresif karena kemampuannya, yaitu menghancurkan lapisan pasif pada permukaan baja karbon dan



mempercepat laju korosinya. Selain itu, adanya ion sulfat juga mempengaruhi laju korosi, namun lebih kecil pengaruhnya dibandingkan ion klorida. Ion klorida bukan merupakan unsur alamiah yang terdapat dalam air, namun biasanya ditambahkan untuk mengontrol perkembangan organisme air. Ketika terlarut di dalam air, maka ion klorida akan berubah menjadi asam hipoklorit (HClO) dan asam klorida (HCl), yang mana akan menurunkan nilai pH (Febriyanti, 2008). Ion klorida dikenal memiliki efek perusak terhadap baja karbon. Ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. *Pitting* merupakan salah satu jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Area kecil dimana ion Cl^- terserap di permukaan logam merupakan daerah anodik menuju lapisan oksida pasif katodik yang luas. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis ion logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang mana menghambat perbaikan lapisan film dan mempercepat serangan korosi. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi uniform dibandingkan dalam bentuk *localized attack*. Dengan adanya sejumlah komponen tambahan seperti garam dapat mempengaruhi efek komponen lain yang ada di dalam sistem. Misalnya, ketergantungan laju korosi baja karbon terhadap konsentrasi ion klorida dapat menurunkan laju korosi di dalam larutan netral yang mengandung oksigen terlarut. Sebagai tambahan, dengan peningkatan konsentrasi garam maka kelarutan oksigen menurun sehingga menutupi efek ion klorida. Pengaruh ion klorida terhadap laju korosi tergantung kation larutan konsentrasi garam (Febriyanti, 2008).

2.5 Baja API 5L

Pipa adalah istilah untuk benda silinder yang berlubang dan digunakan untuk memindahkan zat hasil pemrosesan seperti cairan gas, uap, zat padat yang dicarikan maupun serbuk halus.



Material yang digunakan sebagai pipa banyak, diantaranya adalah: beton, cor, gelas, timbal, kuningan, tembaga, plastik, aluminium, besi tuang, baja karbon dan baja paduan. Pemilihan material pipa akan sangat membingungkan sehingga perlu pemahaman mendalam untuk apa saluran/sistem pipa itu dibuat, mengingat setiap material memiliki keterbatasan dalam setiap aplikasinya. Material yang paling umum digunakan adalah pipa baja karbon (API 5L, 2004).

Pemilihan jenis material bertujuan untuk pertimbangan yang tepat, apakah sifat material ini sesuai dengan ketentuan dan keperluan dari kegunaan pipa ini. Bahan yang dipilih harus sesuai dan benar benar aman serta tahan terhadap kondisi operasi, suhu dan tekanan selama umur perancangan yang diinginkan. Kekuatan mekanik harus memadai untuk penggunaan jangka panjang dan mampu menahan perubahan operasi, misalnya siklus panjang atau mekanis. Selain itu lingkungan sekitar sistem pemipaan dan komponennya beroperasi juga harus dipertimbangkan. Perubahan sifat-sifat bahan atau hilangnya beban efektif yang merubah luas penampang dapat terjadi melalui korosi, erosi atau kombinasi keduanya. Kemampuan bahan yang dipilih untuk dibengkokkan atau dibentuk, kecocokan untuk pengelasan atau metode penyambungan lainnya, kemudahan perlakuan panas, keseragaman dan kestabilan dari struktur mikro dan sifat-sifat bahan memberikan andil pada kelayakan ekonomis dari pipa yang dipilih.

Baja API 5L Grade B adalah jenis baja karbon rendah yang banyak digunakan pada sektor industri. Terdapat dua jenis pada pipa baja ini, yaitu pipa tanpa las (seamless pipe) dan jenis pipa klasan(welded pipe). Terdapat banyak jenis grade pada baja API 5L, namun perbedaan grade ini dipengaruhi oleh komposisi kimia dari baja dan juga sifat mekanisnya. Pada penelitian kali ini, baja yang digunakan adalah Baja API 5L Grade B dengan spesifikasi sebagai berikut.



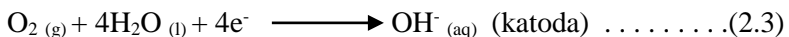
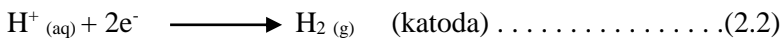
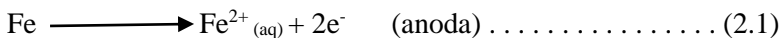
Tabel 2. 1 Komposisi kimia baja API 5L grade B

Elemen	C	Mn	P	S	Ti
Kadar (%)	0,22	1.2	0,025	0,015	0,04

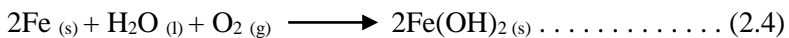
2.6 Mekanisme Korosi pada Baja Karbon Rendah

Korosi pada logam merupakan proses reaksi reduksi dan oksidasi secara kimia ataupun elektrokimia yang menyebabkan transfer elektro dari logam ke lingkungan. Pada dasarnya proses korosi adalah pelarutan logam oleh adanya reaksi permukaan logam dengan elektrolit. Korosi terjadi pada elektroda yang mengalami oksidasi, pada proses korosi ini adalah anoda dimana terjadi pelepasan elektron dan katoda menerima elektron dari lingkungan.

Ketika logam berkontak dengan lingkungan yang memiliki pH diatas maupun dibawah pH netral maka logam akan teroksidasi, dengan reaksi sebagai berikut:



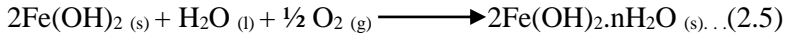
Sehingga keseluruhan reaksi dapat dituliskan sebagai:



Senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang dihasilkan akan mengendap pada permukaan logam membentuk lapisan. Lapisan yang terbentuk bersifat porous sehingga oksigen dapat berdifusi ke dalam lapisan, yang pada giliwannya proses oksidasi akan berlangsung secara perlahan. $\text{Fe}(\text{OH})_2$ merupakan senyawa yang kurang stabil, dengan adanya oksigen, senyawa tersebut akan teroksidasi lebih lanjut



membentuk oksida besi yang lebih stabil atau yang sering juga disebut karat.



2.7 Korosi Baja pada HCl

Korosi pada baja karbon dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif seperti ion klorida (Cl^-) dan ion sulfat (SO_4^{2-}). Ion klorida dapat merusak lapisan pasif yang menghalangi korosi. Mekanisme tersebut dapat menghasilkan korosi sumuran dimana lapisan pasif yang pecah akan memberikan jalan bagi H^+ untuk masuk dan berkontak dengan logam. Larutan HCl adalah asam yang paling sulit untuk diatasi pada proses korosi, dibutuhkan perilaku ekstra untuk menanganinya. Bahkan pada larutan dengan kadar HCl yang rendah, asamnya sangat bersifat korosif pada kebanyakan jenis metal dan lainnya (Mars G. Fontana)

Ion klorida dikenal juga sebagai ion yang memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. Korosi sumuran adalah jenis serangan korosi yang terjadi akibat ion klorida. Ketika proses korosi dimulai, reaksi hidrolisis logam dari reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang dapat menghambat perbaikan lapisan pasif dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi uniform dibandingkan dalam bentuk korosi lokal.

2.8 Pengendalian Korosi

Korosi adalah suatu proses alami, tidak dapat dicegah, namun laju korosi ini dapat dikurangi. Untuk mengurangi ataupun menghindari kerugian yang dapat disebabkan karena masalah korosi ini dapat dilakukan beberapa upaya pengendalian korosi. Dengan dasar pengetahuan tentang proses korosi yang dapat



menjelaskan mekanisme dari korosi, dapat dilakukan usaha-usaha untuk pengendalian terbentuknya korosi, antara lain :

a. Desain material

Laju korosi atau perusakan lapisan pelindung yang diberikan kepada logam akan dipengaruhi oleh perubahan perubahan faktor diantaranya kelembaban relatif, temperatur, pH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor padat atau terlarut, konsentrasi, dan kecepatan elektrolit. Variasi-variasi kondisi lingkungan ini sedapat mungkin harus telah diidentifikasi sejak tahapan perancangan.

b. Pengubahan Media

Korosi merupakan interaksi antara logam dengan media sekitarnya, maka pengubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi. Ada tiga situasi yang dapat terjadi yaitu:

- Media sekitar / lingkungan berupa gas.
- Media sekitar berupa larutan dengan ion-ion tertentu.
- Logam terbenam dalam tanah.

c. Pemilihan Material

Metode umum yang sering digunakan dalam pencegahan korosi, yaitu pemilihan logam atau paduan dalam suatu lingkungan korosif tertentu untuk mengurangi resiko terjadinya korosi. Pemilihan bahan-bahan tersebut terutama didasarkan pada pola tegangan dalam struktur, Teknik fabrikasi, dan penyambungan yang hendak digunakan. Pemilihan material yang sesuai lingkungan dapat meminimalkan kerugian akibat terjadinya korosi.

d. Proteksi Katodik

Proteksi katodik merupakan salah satu cara perlindungan terhadap korosi, yaitu dengan pemberian



arus searah (DC) dari suatu sumber eksternal untuk melindungi logam dari korosi khusus di lingkungan yang terbenam air maupun di dalam tanah, seperti perlindungan pada kapal laut, instalasi pipa bawah tanah, dan sebagainya. Menurut Fontana dalam buku *Corrosion Engineer*, proteksi katodik adalah jenis perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang mempunyai potensial lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimia dengan logam berpotensi rendah bersifat katodik dan terproteksi. Macam-macam proteksi katodik, antara lain :

- Impressed Current
- Galvanic Sacrificial Anode
- Galvanic Zinc Application
- Zinc Metallizing
- *Zinc-Rich Paints*
- *Hot-Dip Galvanizing*

e. Proteksi Anodik

Adanya arus anodik akan meningkatkan laju ketidaklarutan logam dan menurunkan laju pembentukan hidrogen. Hal ini bisa terjadi untuk logam-logam *active-passive* seperti Ni, Fe, Cr, Ti dan paduannya. Jika arus yang lewat logam dikontrol seksama (dengan potentiostat) maka logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam-logam tak larut akan berkurang.

f. Pelapisan (*coating*)

Prinsip umum dari pelapisan yaitu melapiskan logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung. Adanya lapisan pada permukaan logam akan



meminimalkan kontak antara logam dengan lingkungannya. Jenis - jenis *coating* :

- *Metallic coatings*
- *Paint /organic coatings*
- *Chemical conversion coatings*
- *Miscellaneous coatings (enamel, thermoplastics)*

g. Pengubahan Media / Lingkungan Kerja (*Environment Change*)

Korosi merupakan interaksi antara logam dengan media sekitarnya, maka pengubahan media sekitarnya akan dapat mengubah laju korosi. Ada tiga situasi yang dapat terjadi, yaitu:

- Media sekitar / lingkungan berupa gas
- Media sekitar berupa larutan dengan ion-ion tertentu
- Logam terbenam dalam tanah

h. Inhibitor Korosi

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya korosi adalah dengan penggunaan *inhibitor* korosi. Secara umum suatu *inhibitor* adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia.

2.9 Inhibitor

Inhibitor merupakan senyawa yang jika ditambahkan dalam jumlah kecil pada suatu sistem korosi dapat meminimalkan laju korosi pada konsentrasi tertentu (Uhlig, 2004). Inhibitor korosi ditambahkan ke dalam media dalam tingkat *parts per million* (ppm). Inhibitor korosi bekerja adalah dengan membentuk lapisan pasif berupa lapisan tipis atau film dipermukaan material yang berfungsi sebagai penghalang antara logam dengan media yang



korosif. Banyak jenis inhibitor yang tersedia yang dapat dipilih untuk mengatasi permasalahan korosi. Metode ini biasanya diaplikasikan pada interior dari pipa, bejana, dan peralatan lainnya. Pemilihan inhibitor korosi tergantung pada kondisi actual dari lapangan. Seleksi dan kualifikasi inhibitor korosi di laboratorium perlu dilakukan sebelum digunakan. Faktor seperti temperatur dan kondisi laju aliran perlu dipelajari sebelum menentukan inhibitor korosi. Perhatian juga harus diberikan seperti faktor komposisi dan mikrostruktur dari material yang digunakan, absorpsi inhibitor oleh partikel yang tersuspensi dalam air. Efektivitas inhibitor korosi juga sangat ditentukan oleh temperatur dan komposisi hidrokarbon pada sistem karena akan mempengaruhi kelarutan inhibitor. Dalam pemakaian inhibitor, produsen menjelaskan secara spesifik atau merekomendasikan jumlah/dosis pemakaian produknya. Sangat penting untuk diketahui kinerja produk apabila kelebihan atau kekurangan dosis. Jumlah inhibitor harus cukup untuk melindungi permukaan material dari sistem. Apabila dosis yang diberikan kurang dari yang diperlukan, maka akan ada bagian permukaan material yang tidak terlindungi, sehingga bagian ini akan terkorosi (Sofia, 2010).

Inhibitor korosi terdiri dari inhibitor anorganik dan organik (*green inhibitor*). Inhibitor anorganik antara lain arsenat, kromat, silikat, dan fosfat yang merupakan jenis bahan kimia yang mahal, berbahaya, dan tidak ramah lingkungan, sehingga akan memberikan efek buruk bila berinteraksi langsung dengan tubuh manusia. Inhibitor organik lebih aman dan ramah lingkungan karena berasal dari bahan alami. Kandungan senyawa antioksidan inhibitor dapat diklasifikasikan dalam beberapa cara seperti: seperti polifenol, tanin, alkaloid, saponin, minyak atsiri, dan asam amino mempunyai banyak unsur N, O, P, dan S yang dapat membentuk senyawa kompleks sulit larut dengan ion logam yang mampu menghambat korosi pada logam. Inhibitor korosi secara umum akan membentuk lapisan tipis protektif yang mencegah terjadinya kontak antara larutan korosif dengan baja. Keunggulan dari penambahan inhibitor korosi ini adalah tidak membutuhkan

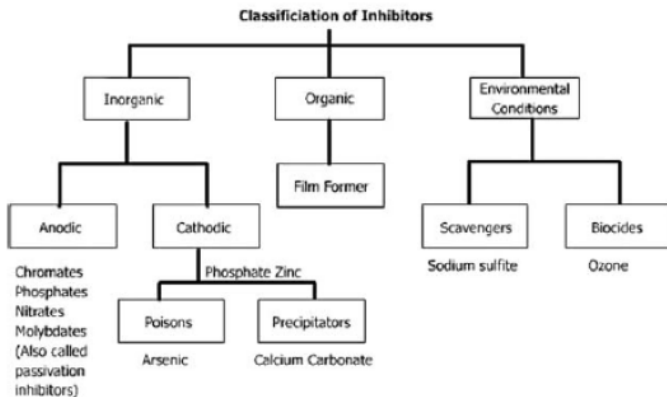


biaya perawatan, dapat ditambahkan ke dalam lingkungan jika kemampuan untuk menghambat menurun dan lebih murah (Sazha, 2014).

2.10 Klasifikasi Inhibitor

Inhibitor korosi dapat berupa bahan kimia baik sintetis atau alami dan dapat diklasifikasikan menurut:

- sifat kimiawi sebagai organik atau anorganik;
- mekanisme kerja inhibitor anodik, katodik atau anodik-katodik(campuran) atau adsorpsi, atau;
- sebagai oksidan atau bukan oksidan. Secara umum, inhibitor anorganik bekerja dengan katodik atau anodik. Penghambat organik memiliki kedua tindakan, katodik dan anodik dan protektif oleh adsorpsi film. Klasifikasi seperti Gambar dibawah ini.



Gambar 2. 10 Klasifikasi inhibitor (Sankara, 2014)

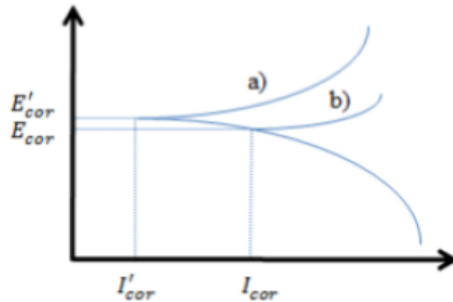
2.10.1 Inhibitor Anorganik

2.10.1.1. Inhibitor Anodik

Inhibitor anodik (juga disebut Inhibitor passivation) bekerja dengan reaksi anodik reduksi, yaitu menghambat reaksi

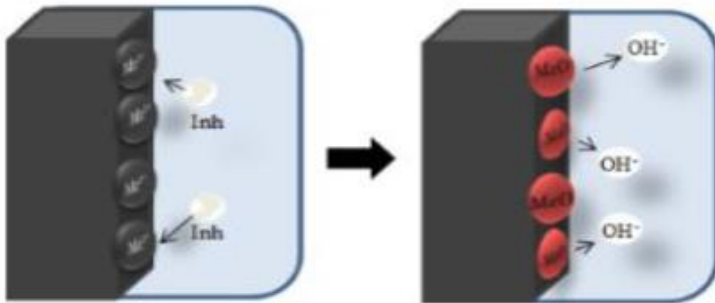


anoda dan mendukung reaksi alami permukaan logam pasif, juga karena pembentukan film yang teradsorpsi pada logam. Secara umum, inhibitor bereaksi dengan produk korosi, yang pada awalnya terbentuk, menghasilkan lapisan yang kohesif dan tidak larut pada permukaan logam. Gambar 2.14 menunjukkan diagram polarisasi potentiostatik larutan dengan penghambat perilaku anodik. Reaksi anodik dipengaruhi oleh inhibitor korosi dan potensi korosi logam digeser ke nilai yang lebih positif. Selain itu, nilai arus dalam kurva menurun seiring dengan adanya inhibitor korosi.



**Gambar 2. 11 Diagram polarisasi anodik inhibitor
(Alexandre, 2010)**

Inhibitor anodik bereaksi dengan ion logam Me^+ yang dihasilkan pada anoda, membentuk hidroksida yang tidak larut secara umum, yang didepositkan pada permukaan logam sebagai film yang tidak larut dan tidak kedap pada ion metalik. Dari hidrolisis inhibitor menghasilkan OH^- ion. Gambar 2.15 menunjukkan bagaimana mekanisme efek penghambatan anodik.



Gambar 2. 12 Mekanisme inhibitor anodik (Alexandre, 2010)

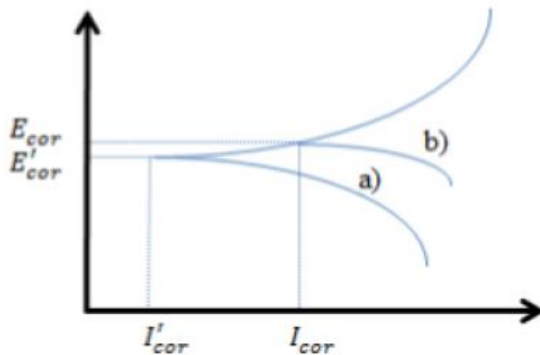
Bila konsentrasi inhibitor menjadi cukup tinggi, kerapatan arus katodik pada potensial pasivasi primer menjadi lebih tinggi daripada kerapatan arus anodik kritis, yaitu menggeser potensi ke yang lebih mulia, dan akibatnya logam tersebut dipasifkan. Untukefek penghambat anodik, sangat penting bahwa konsentrasi inhibitor harus cukup tinggi dalam larutan. Jumlah inhibitor yang tidak cukup untuk pembentukan proteksi film, tidak akan menutupi logam sepenuhnya, membiarkan impuritas terkena logam, sehingga menyebabkan korosi terlokalisir. Konsentrasi di bawah ini untuk nilai kritis lebih buruk daripada tanpa inhibitor sama sekali. Secara umum dapat menyebabkan pitting, karena reduksi pada daerah anodik relatif terhadap katodik, atau dapat mempercepat korosi, seperti korosi umum, karena kerusakan total pada kepasifan. Beberapa contoh inhibitor anorganik anodik adalah nitrat, molibden, natrium kromat, fosfat, hidroksida dan silikat

2.10.1.2 Inhibitor Katodik

Selama proses korosi, inhibitor korosi katodik mencegah terjadinya reaksi katodik logam. Penghambat ini memiliki ion logam yang mampu menghasilkan reaksi katodik karena

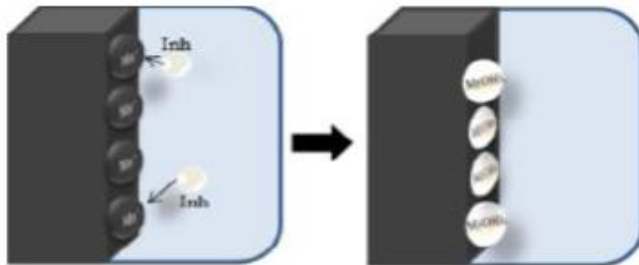


alkalinitas, sehingga menghasilkan senyawa tak larut yang mengendap secara selektif pada tempat katodik. deposit di atas logam merupakan lapisan film yang kompak, yang membatasi penyebaran unsur yang dapat direduksi di daerah ini. Dengan demikian, meningkatkan impedansi permukaan dan pembatasan difusi spesies yang dapat direduksi, yaitu difusi oksigen dan elektron yang konduktif di daerah ini. Penghambat ini menyebabkan penghambatan katodik yang tinggi. Gambar 2.16 menunjukkan contoh kurva polarisasi logam pada larutan dengan penghambat katodik. Bila reaksi katodik dipengaruhi, potensi korosi digeser ke nilai yang lebih negatif.



Gambar 2. 13 Polarisasi inhibitor katodik (Alexandre, 2010)

Inhibitor katodik membentuk penghalang endapan yang tidak larut di atas logam, menutupinya. Dengan demikian, membatasi kontak logam dengan lingkungan, bahkan jika benar-benar terbenam, mencegah terjadinya reaksi korosi. Karena ini, penghambat katodik tidak bergantung pada konsentrasi, sehingga lebih aman daripada inhibitor anodik. Gambar 2.17 menunjukkan ilustrasi efek mekanis penghambat katodik untuk menahan proses korosi.



Gambar 2. 14 Mekanisme efek katodik inhibitor di sistem korosi (Alexandre, 2010)

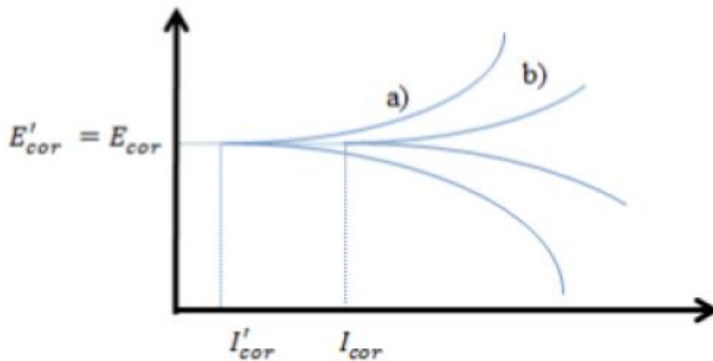
Beberapa contoh penghambat katodik anorganik adalah ion magnesium, seng, dan nikel yang bereaksi dengan hidroksil (OH-) air yang membentuk hidroksida yang tidak larut sebagai ($Mg(OH)_2$, $Zn(OH)_2$, $Ni(OH)_2$) yang terbentuk di tempat katodik permukaan logam dan melindunginya. Juga dapat seperti senyawa polifosfat, fosfonat, tanin, lignin dan garam kalsium sebagai contoh mekanisme reaksi yang sama. Terlihat semacam mekanisme inhibisi ini, akibat efek magnesium atau kalsium bikarbonat di atasnya. Ketika air mengalir di atas logam, ia dapat membantu nukleasi karbonat, membiarkan reaksi mendekati ekuilibrium dan membentuk presipitasi pada permukaan logam. Presipitasi ini, seperti $CaCO_3$, menutupi area katodik, melindungi logam. Jadi inhibitor katodik ini hanya bergantung pada kimia air, bukan karena komposisi logam, karena ini berlaku untuk semua logam. Sebagai contoh, dapat disebutkan oksida dan garam antimon, arsen dan bismut, yang disimpan di daerah katoda dalam larutan asam. Inhibitor katodik ini meminimalkan pelepasan ion hidrogen karena suatu fenomena yang dapat menyulitkan pelepasan hidrogen, yang disebut tegangan lebih.

2.10.2 Inhibitor Organik

Senyawa organik yang digunakan sebagai inhibitor, kadang-kadang, mereka bertindak sebagai katalisator katodik,

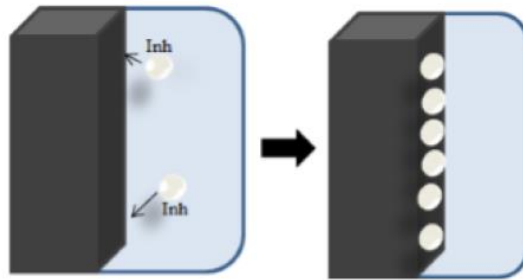


anodik atau campuran, sebagai inhibitor katodik dan anodik, bagaimanapun, sebagai aturan umum, bertindak melalui proses adsorpsi permukaan, yang ditetapkan sebagai pembentuk film. Tentu saja terjadinya molekul yang menunjukkan afinitas kuat untuk senyawa permukaan logam yang menunjukkan efisiensi inhibisi yang baik dan risiko lingkungan yang rendah. Inhibitor ini membentuk sebuah film hidrofobik pelindung yang teradsorpsi pada permukaan logam, yang memberikan penghalang pada pelarutan logam dalam elektrolit. Mereka harus larut atau terdispersi dalam medium yang mengelilingi logam. Pada Gambar 2.15, yang menunjukkan kurva polarisasi potensiostatik teoritis, dapat dilihat bahwa efek larutan yang mengandung inhibitor organik pada logam menunjukkan perilaku anodik dan katodik. Setelah penambahan inhibitor, potensi korosi tetap sama, namun arus turun dari I_{cor} ke I'_{cor} .



Gambar 2. 15 Polarisasi inhibitor campuran (Alexandre, 2010)

Gambar 2.16 mekanisme aksi inhibitor organik, bila diadsorpsi ke permukaan logam dan membentuk lapisan pelindung di atasnya.



Gambar 2. 16 Mekanisme inhibitor organik (Alexandre, 2010)

Efisiensi inhibitor organik tergantung dari:

- Struktur kimia, seperti ukuran molekul organik;
- Ikatan aromatik dan / atau ikatan terkonjugasi, sebagai rantai karbon;
- Jenis dan jumlah atom atau kelompok ikatan dalam molekul (baik π atau σ);
- Sifat dan muatan permukaan logam dari jenis adsorpsi seperti kekuatan ikatan terhadap substrat logam;
- Kemampuan lapisan untuk menjadi kompak atau cross-linked,
- Kemampuan untuk membentuk kompleks dengan atom sebagai padatan dalam kisi logam;
- Jenis larutan elektrolit seperti kelarutan yang memadai di lingkungan.

Efisiensi inhibitor korosi organik ini terkait dengan adanya gugus fungsi polar dengan atom S, O atau N dalam molekul, senyawa heterosiklik dan elektron pi, umumnya memiliki bagian hidrofilik atau hidrofobik yang dapat diionisasi. Fungsi kutub biasanya dianggap sebagai pusat reaksi pembentukan proses adsorpsi. Penghambat asam organik yang mengandung oksigen, nitrogen dan / atau sulfur teradsorpsi pada permukaan logam yang menghalangi lokasi korosi aktif. Meskipun penghambat organik yang paling efektif dan efisien adalah senyawa yang memiliki



ikatan pi, toksisitas biologis dan karakteristik lingkungan berbahaya. Karena permukaan logam yang tertutup sebanding dengan konsentrator inhibitor, konsentrasi inhibitor dalam medium sangat penting. Beberapa contohnya adalah amina, urea, *Mercaptobenzothiazole* (MBT), benzotriazol etoliotriazol, aldehida, senyawa nitrogen heterosiklik, senyawa yang mengandung belerang dan senyawa asetilenat dan juga asam askorbat, asam suksinat, tryptamine, kafein dan ekstrak zat alami. Masih ada beberapa inhibitor yang beraksi pada fase uap (*volatile corrosion inhibitor*). Beberapa contohnya adalah: *dicicloexilamônio benzoate*, *diisopropylammonium nitrite* atau *benzoate*, *ethanolamine benzoate* atau *carbonate* dan juga kombinasi urea dan *sodium nitrite*.

2.10.2.1 Mekanisme Inhibisi secara Adsorpsi

Penyerapan suatu zat oleh zat lain disebut sorpsi. Ada dua jenis sorpsi, yaitu absorpsi dan adsorpsi. Pada adsorpsi, zat yang diserap hanya terdapat pada bagian permukaan zat penyerap, sedangkan pada absorpsi, zat atau ion yang diserap masuk ke bagian dalam zat penyerap. Adsorpsi semata-mata hanya suatu efek permukaan, sedangkan dalam absorpsi, zat cair dan gas yang diabsorpsi menembus kedalam ruang - ruang kapiler dari zat pengabsorpsi. Ada dua jenis komponen yang terlibat dalam adsorpsi, yaitu zat terserap (adsorbat) dan zat penyerap (adsorben). Ada tiga cara yang dilakukan inhibitor teradsorpsi terhadap permukaan logam, yaitu :

- a) Pembentukan penghalang secara fisika atau kimia
- b) Isolasi langsung situs-situs anodik dan katodik
- c) Berinteraksi dengan antarmediasi reaksi korosi

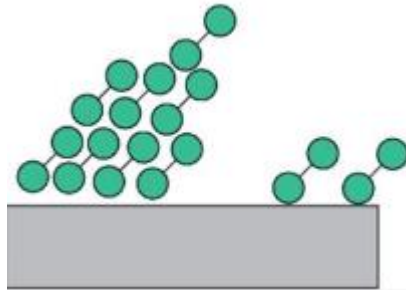
Pada jenis inhibitor organik, terjadi proses adsorpsi pada permukaan logam untuk membentuk lapisan senyawa kompleks. Namun, dalam adsorpsi terbagi menjadi 3 mekanisme yaitu (Roberge, 2008) :



1. *Physical adsorption*

Mekanisme ini terbentuk hasil dari interaksi elektrostatik antara inhibitor dengan permukaan logam. Logam yang diberi muatan positif akan mengikat inhibitor dengan muatan negatif. Begitu juga dengan sebaliknya. Ikatan ini terbentuk dengan cepat dan bersifat bolak-balik namun mudah hilang atau rusak dari permukaan logam. Adsorpsi jenis ini disebabkan oleh adanya gaya Van der Waal. Physical adsorption memiliki karakteristik seperti:

- bersifat reversibel di alam dan bergantung pada tekanan dan temperatur;
- dengan meningkatnya temperatur dapat meningkatkan physical adsorption;
- substansi yang berpori bersifat sebagai adsorbent yang lebih baik;
- tidak memerlukan energi.



Gambar 2. 17 Ilustrasi physical adsorption (Kenneth,1982)

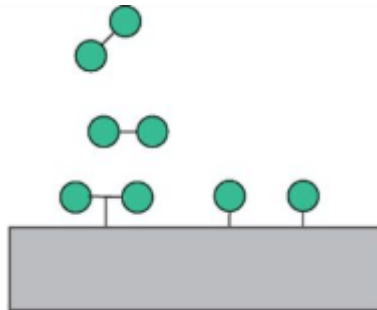
2. *Chemisorption*

Mekanisme ini terbentuk dari transfer atau membagi muatan antara molekul dari inhibitor dengan permukaan logam. Jenis adsorpsi ini sangat efektif karena sifatnya tidak bolak-balik namun dalam pembentukannya



berjalan lebih lambat. Dapat dikarakteristikan melalui keterlibatan ikatan kimia antara molekul gas dan adsorben permukaan, yang mana menyebabkan terjadinya lapisan unimolekuler. Karakteristik dari chemisorption adalah sebagai berikut:

- Proses bersifat ireversibel di alam
- Bersifat eksotermik dan dipengaruhi oleh kenaikan temperatur
- Terjadi secara lambat pada temperatur rendah dan secara cepat seiring dengan kenaikan tekanan
- Karena proses melebatkan pembentukan ikatan kimia, maka nilai entalpinya tinggi
- Membutuhkan energi untuk aktivasi



Gambar 2. 18 Ilustrasi chemisorption (Kenneth,1982)

3. *Film Forming*

Mekanisme jenis ini dipengaruhi oleh struktur inhibitor, komposisi larutan sebagai media elektrolit, sifat bawaan dari logam, dan potensial elektrokimia pada lapisan antar muka logam-larutan. Adsorpsi inhibitor organik biasanya melibatkan minimal dua dari jenis adsorpsi di atas yang berjalan simultan. Sebagai contoh, adsorpsi inhibitor organik pada logam di lingkungan HCl adalah



kombinasi *chemisorptions-physical adsorption* yang memberikan perlindungan fisik dan kimiawi (NACE International, 1973).

Tabel 2. 2 Perbandingan adsorbs fisik dan adsorbs kimia (Firmansyah, 2011)

	Fisorpsi	Kemisorpsi
Tipe Interaksi	Molekul terikat secara Van der Waals atau gaya elektrostatik	Molekul terikat secara ikatan kimia dengan adanya transfer atau berbagi muatan
Reversibilitas	Absorbat mudah dihilangkan dengan pelarut pembersih	Adsorpsi tidak dapat kembali, lebih kuat
Energi	Panas adsorpsi berlangsung cepat	Proses adsorpsi lambat
Kinetika	Proses adsorbs berlangsung cepat	Proses adsorpsi lambat
Spesifitas	Bersifat tidak spesifik atau tidak dipengaruhi identifikasi permukaan	Interaksi spesifik, sangat bergantung pada identifikasi permukaan



Kemampuan inhibisi korosi dari senyawa karbon tergantung pada sifat adsorpsi dan konsentrasi inhibitor teradsorpsi dalam melindungi permukaan logam dari media korosif, dan atau memodifikasi reaksi elektroda dari pelarutan logam pada proses anodik. Adanya adsorpsi senyawa organik pada permukaan elektroda memberikan informasi tentang lapis rangkap listrik, kinetika transfer elektron, dan peran antarmedia dalam mekanisme inhibisi dari proses elektroda seperti pada sintesis elektroorganik dan elektroplating. Adsorpsi sangat tergantung pada sifat fisika dan kimia dari molekul inhibitor, seperti gugus fungsi, faktor sterik, sifat aromatis, rapat electron atom donor, dan karakter orbital π dari donor electron (Firmansyah, 2011).

Pembentukan film adalah mekanisme inhibitor dimana molekul inhibitor yang teradsorpsi mengalami reaksi di permukaan, sehingga dapat terbentuk film polimerik dengan ketebalan sekitar seratus angstrom. Proses inhibisi ini akan efektif jika lapisan film yang terbentuk tidak larut dan rusak, sehingga efektif untuk melindungi permukaan logam. Kekuatan adsorpsi inhibitor pada permukaan logam dapat ditunjukkan pada *Adsorption Isoterm*, yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi inhibitor di permukaan logam dan di larutan. Untuk mengetahui kekuatan adsorpsi dilakukan dengan menggunakan rumus isoterm. Dari hasil yang paling bagus, kemudian data termodinamik adsorpsi dilakukan evaluasi. Berikut ini adalah jenis adsorption isotem yang digunakan untuk menentukan efisiensi inhibitor. (Uhlig, 2000).

Terdapat beberapa tipe isoterm adsorpsi yang dapat dijadikan referensi ketika mempelajari mekanisme inhibitor korosi. Salah satunya adalah isoterm adsorpsi *Langmuir* yang merupakan model paling sederhana dengan asumsi tidak ada interaksi antar molekul adsorbat, lapisan terbentuk berupa *monolayer*, maksimum fraksi penutupan =1 (saat permukaan adsorbat jenuh dengan adsorben), permukaan adsorbat homogen sehingga setiap area permukaan memiliki energi ikatan yang sama dan molekul yang teradsorpsi tidak bergerak pada permukaan. (Dada, 2012).



$$K_{ads} = \frac{\theta}{c(1-\theta)} \dots \dots \dots (2.)$$

$$\Delta G^{\circ}_{ads} = RT - \ln(C_{solv} K_{ads}) \dots (2.)$$

$$\theta = \frac{C_{R0} - C_{R1}}{C_{R0}} \dots \dots \dots (2.)$$

Dimana:

- C = konsentrasi inhibitor (mg/L)
- K_{ads} = konstanta kesetimbangan adsorpsi
- θ = derajat surface coverage
- R = konstanta Gas Ideal (8.314 J/mol K)
- T = temperatur (K)
- ΔG° = Standart Energi Bebas Adsorpsi (kJ/mol)

2.11 Kandungan pada Daun Kelor (*Moringa Oleifera*)

Tanaman kelor atau yang bernama latin *Moringa Oleifera* adalah salah satu superfood atau yang dikenal juga sebagai miracle plant. Sebutan ini digunakan karena tanaman kelor memiliki banyak manfaat, baik dari segi obat-obatan maupun nutrisi. Hampir seluruh bagian dari tanaman tersebut sangat bermanfaat. Daunnya dapat dikonsumsi, kulit pohonnya dapat dijadikan campuran permen karet, *nectar* pada bunganya dijadikan madu dan bijinya dapat digunakan sebagai pemurni air (Fuglie, 1999). Daun kelor memiliki berbagai kandungan didalamnya, contohnya adalah antioksidan dan tannin (Saini et al., 2014b, 2014d)

2.11.1 Kandungan Tannin

Tanin dapat digunakan sebagai inhibitor organik. Tanin bekerja dengan cara menggantikan fungsi kromat dan timbal merah dalam zat dasar. Dalam senyawa tanin, terdapat gugus hidroksi yang melekat pada cincin aromatis (flavonoid) sehingga tanin dapat membentuk kompleks khelat dengan kation besi dan logam lainnya. Senyawa tanin dapat membentuk kompleks dengan besi (II) dan besi (III).



Gambar 2. 19 Daun tanaman kelor (*Moringa Oleifera*)

Kompleks besi (II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, kompleks ini berubah menjadi kompleks besi (III)-tanin yang disebut tanat. Kompleks inilah yang akan melekat pada permukaan besi yang akan menghalangi terjadinya proses korosi lebih lanjut karena kompleks tersebut akan terserap pada permukaan besi dan melindungi permukaan besi. (Ali, 2014)

Selain itu, aplikasi tannin pada bidang korosi juga digunakan pada paints, adhesive dan coatings. Ex Chen et al. (2008), melakukan studi terhadap tanin yang digunakan sebagai conversion coating pada paduan magnesium. Tanin juga telah disebut sebagai converter karat sejak keberadaannya mengubah karat aktif menjadi oksida non-reactive protective. Ross & Francis (1978), menemukan bahwa tanin mempercepat fase magnetit sebagai lapisan antikorosif. Sifat protektif didapatkan dari reaksi polifenol dari tanin dengan ion ferric sehingga membentuk jaringan cross-linked yaitu ferri-tannates. Melalui mekanisme



inilah kandungan tanin pada tumbuh-tumbuhan dapat menghambat laju korosi dari logam.

2.11.2 Kandungan Antioksidan

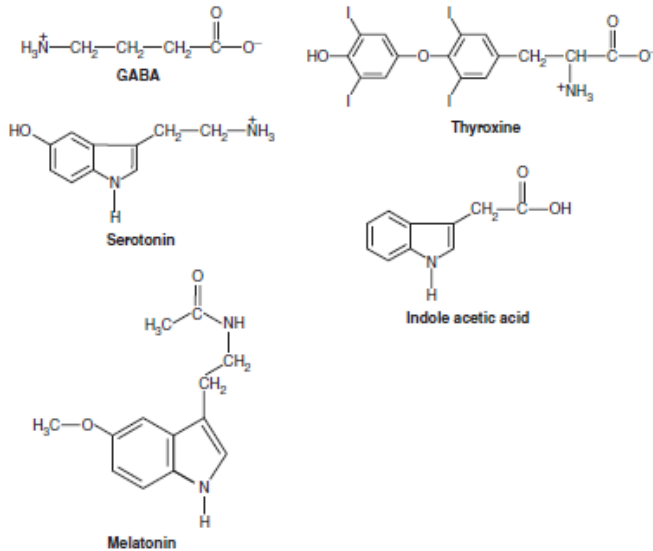
Asam amino biasanya banyak ditemukan dalam sayuran ataupun hewan. Struktur dari asam amino sendiri Atom C mengikat 4 gugusgugus amina (NH_2), gugus karboksil (COOH), atom hidrogen (H), dan satu gugus sisa (R, dari *residue*) atau disebut juga gugus atau rantai samping yang membedakan satu asam amino dengan asam amino lainnya. asam amino biasanya diklasifikasikan berdasarkan sifat kimia rantai samping tersebut menjadi empat kelompok. Rantai samping dapat membuat asam amino bersifat asam lemah, basa lemah, hidrofilik jika polar, dan hidrofobik jika nonpolar.

Selain fungsi utama sebagai komponen protein, asam amino memiliki peran biologis yaitu:

1. Beberapa asam amino dan turunannya sebagai chemical messenger Misalnya, glisin, glutamat, amino butyric acid (GABA, turunan glutamat), dan serotonin dan melatonin (turunan dari tryptophan) adalah neurotransmitter, zat yang dilepas dari satu sel saraf yang mempengaruhi fungsi sel saraf kedua atau sel otot. Tiroksin (turunan tirosin yang diproduksi di kelenjar tiroid hewan) dan asam asetat indol (turunan triptofan yang ditemukan pada tumbuhan) adalah hormone sinyal kimia mole-cules diproduksi dalam satu sel yang mengatur fungsi dari sel lainnya.
2. Asam amino adalah prekursor dari berbagai kandungan nitrogen kompleks molekul. Contohnya termasuk komponen dasar nitrogen dari nukleotida dan asam nukleat, heme (kelompok organik yang mengandung besi) diperlukan untuk aktivitas biologis dari beberapa protein penting), dan klorofil (pigmen yang sangat penting dalam fotosintesis).



3. Beberapa asam amino standar dan nonstandar bertindak sebagai intermediet metabolik. Misalnya, arginin, citrulline, dan ornithine adalah komponen dari siklus urea. Sintesisnya urea, sebuah molekul yang terbentuk di hati vertebrata, adalah mekanisme utama untuk pembuangan limbah nitrogen.



Gambar 2. 20 Contoh Senyawa Asam Amino (Tarek,2013)

2.12 Pengukuran Laju Korosi

Laju korosi dari sebuah logam dapat ditentukan dengan serangkaian pengujian. Beberapa metode pengujiannya: metode kehilangan berat (weightloss); analisis kimia larutan; teknik gasometri; pengukuran ketebalan; *electrical resistance probe*.



2.12.1 Metode Kehilangan Berat (Weightloss)

Metode pengukuran laju korosi ini adalah metode yang paling sederhana dan banyak digunakan dibandingkan dengan metode lainnya. Pada metode ini digunakan sampel logam berupa kupon. Kupon adalah lempengan dari logam yang ditempatkan dalam sistem dan dibiarkan selama beberapa waktu agar terkorosi. Kupon digunakan untuk mengetahui laju korosi melalui metode weightloss (Jones, 1992).

Kupon menunjukkan kerusakan korosi pada baja dalam jangka waktu tertentu dan hanya dapat digunakan pada kondisi dimana peningkatan korosi dapat diukur. Bentuk dan dimensi kupon bervariasi. Sebelum kupon diletakkan pada sistem korosif, maka kupon haruslah dibersihkan dahulu agar produk korosi yang ada sebelumnya tidak mengganggu variabel dari pengujian. Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut:

$$\text{Laju Korosi} = \frac{K.W}{D.A.T} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

K = konstanta (mmpy= $8,75 \times 10^4$)

W = kehilangan berat (gram)

D = densitas (gram/cm³)

A = luas permukaan yang terendam (cm²)

T = Waktu (jam)

- Efisiensi Inhibitor Korosi

$$\text{Einh} = \frac{CR_0 - CR_I}{CR_0} \dots \dots \dots (2.7)$$



Dimana:

Einh = efisiensi inhibitor korosi

CR0 = laju korosi dengan zero inhibitor

CRI = laju korosi dengan adanya inhibitor

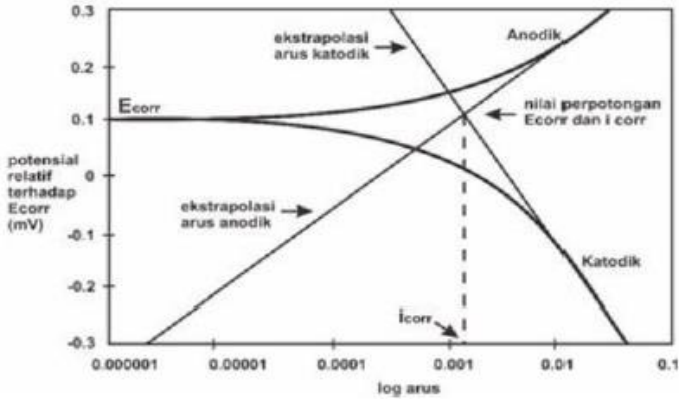
- Jumlah inhibitor yang dibutuhkan untuk cairan yang dapat menghambat korosi dapat

$$Q_{inh} = \frac{v_{fluid}}{1.0 \times 10^6} \times C_{inh}(ppm) \dots (2.8)$$

2.12.2 Polarisasi Tafel

Polarisasi adalah perubahan potensial dari keadaan seimbang. Ketika suatu logam tidak berada pada kesetimbangan dengan larutan yang mengandung ion-ionnya, potensial elektrodanya berbeda dari potensial korosi bebas dan selisih antar keduanya bisa disebut polarisasi (Thretewey, 1991). Perbedaan pada potensial antara anoda dan katoda penting untuk menunjukkan laju korosi. Namun, laju korosi juga tergantung pada kerapatan arus. Korosi dapat digambarkan dengan kurva tegangan fungsi arus atau yang disebut juga dengan polarisasi.

Potensial polarisasi adalah selisih antara potensial korosi logam dan potensial yang digunakan pada keadaan kesetimbangan dengan ionnya dalam elektrolit.



Gambar 2. 21 Skema kurva polarisasi (Rahman, 2016)

Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam menentukan laju korosi dengan metode polarisasi tafel

$$B = \frac{ba \cdot bc}{2,303(ba+bc)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

B= Stern-Geary constant (V)

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

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

Kemudian mencari perhitungan icor dengan persamaan berikut.

$$I_{cor} = \frac{B}{R_p} \dots\dots\dots(II.8)$$

Dimana:



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

R_p = tahanan polarisasi ($\Omega \text{ cm}^2$)

Lalu dicari laju korosinya dengan menggunakan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \frac{I_{cor}}{p} EW \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

CR = laju korosi (mpy)

$K_1 = 0,128$ (mpy g/ $\mu\text{A cm}$)

p = densitas logam (g/cm^3)

EW = equivalent weight (g/mol)

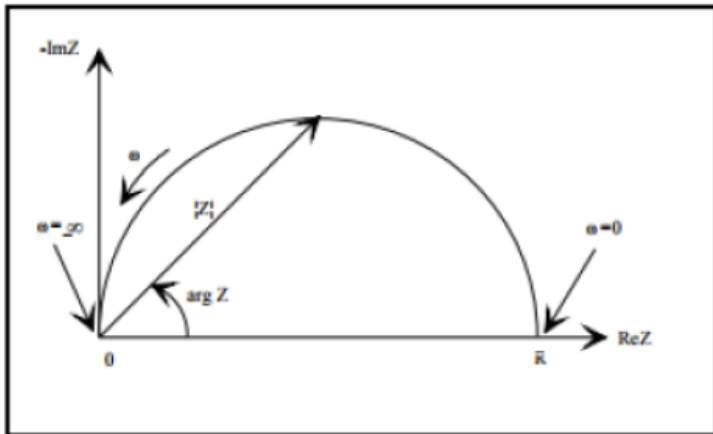
2.12.3 Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Spektroskopi impedansi elektrokimia adalah metode yang digunakan untuk memprediksi perilaku korosi secara akurat yang direpresentasikan sebagai sirkuit elektrik. EIS digunakan untuk menentukan parameter kinetika elektrokimia berkaitan dengan unsur-unsur listrik seperti tahanan, kapasistansi dan induktansi. Pengujian EIS dikenal sebagai metode yang kuat untuk memberikan informasi mengenai laju korosi, baik mengenai kinetika proteksi dan mekanismenya (Gusmano, 2006). Dalam impedansi, sinyal potensial dan arus AC berada dalam fasa yang berbeda dan nilainya dipengaruhi oleh frekuensi.

Berdasarkan pengertiannya, pengujian laju korosi dengan menggunakan spektroskopi impedansi ini adalah arus listrik yang mengalir melintasi antarmuka logam dan larutan digambarkan sebagai bagian dari reaksi elektrokimia yaitu proses transfer muatan



dan berbagai proses yang membentuk antarmuka bermuatan. Oleh karena itu suatu sistem elektroda dengan larutan dapat digambarkan sebagai susunan komponen listrik yang terdiri dari resistor dan kapasitor listrik.



Gambar 2. 22 Spektrum EIS aliran Nyquist untuk reaksi antarmuka yang dikendalikan oleh hambatan (Gamry, 2012)

Impedansi ini ditentukan berdasarkan hukum ohm seperti persamaan dibawah ini

$$Z(\omega) = \frac{E(t)}{I(t)} = Z'(\omega) + jZ''(\omega) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$Y(\omega) = \frac{I(t)}{E(t)} = Y'(\omega) + jY''(\omega) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana:

$E(t)$ = potensial yang bergantung waktu (V)

$I(t)$ = arus yang bergantung waktu (A)

$\omega = 2\pi f$ = frekuensi angular (Hz)



f = frekuensi sinyal (Hz)

$Z'(\omega) + jZ''(\omega)$ = bagian real

$Y'(\omega) + jY''(\omega)$ = bagian imajiner

t = waktu

$j = -1^{1/2}$

$j'' = -1$

2.13 Penelitian Sebelumnya

Tabel 2. 3 Daftar penelitian sebelumnya

Author	Year	Title
V. Kalaiselvi	2018	<i>Microwave assisted green synthesis of Hydroxyapatite nanorods using Moringa oleifera flower extract and its antimicrobial applications</i>
Adewumi T. Oyeyinka	2015	<i>Moringa oleifera as a food fortificant: Recent trends and prospects</i>
Sazha	2014	<i>Aplikasi Sarang Semut (Myrmecodia Pendans) sebagai Inhibitor Korosi pada Baja API 5L Grade B dan AISI 1010 dalam Media 3.5 NaCl 3.5%.</i>
Marcia Gabriela Pianaro Valenga	2016	<i>Agro-industrial waste and Moringa oleifera leaves as antioxidants for Biodiesel</i>

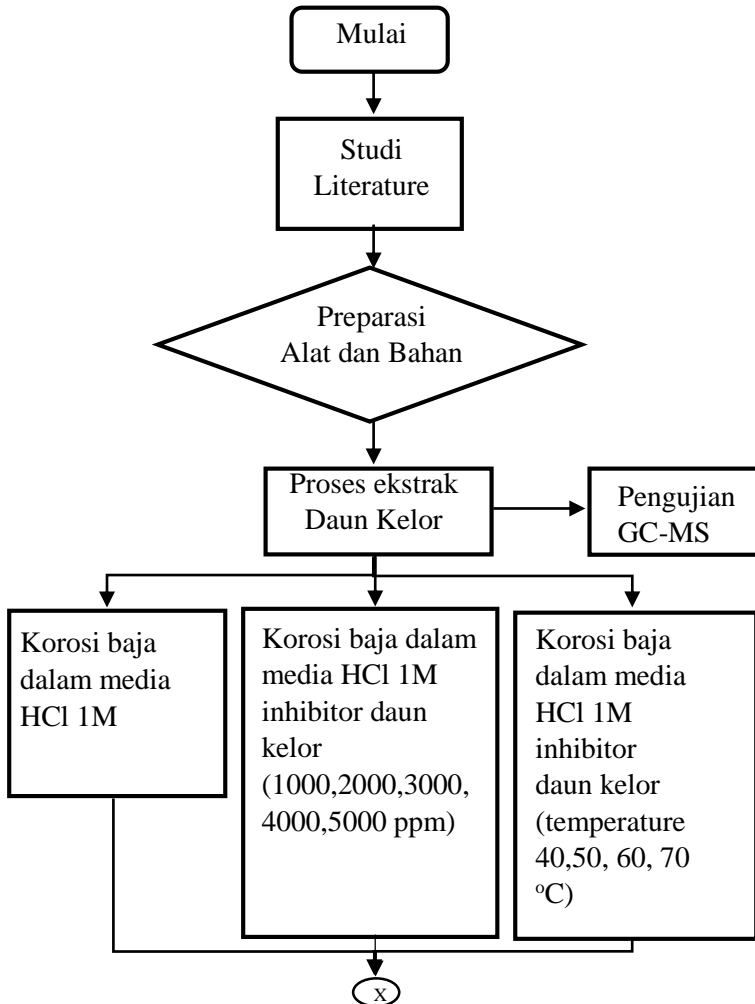


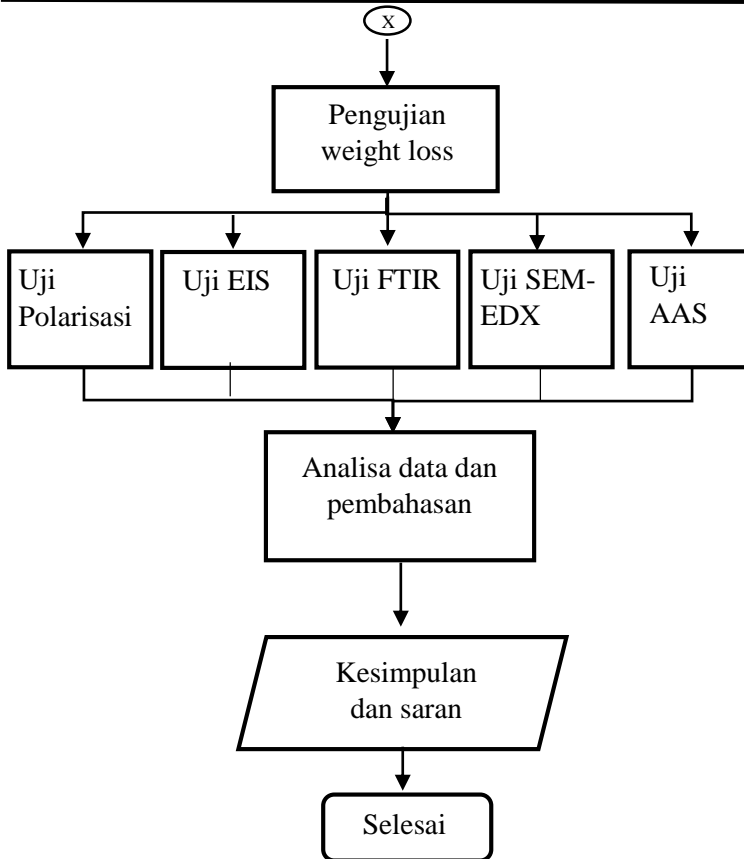
Mochamad Alvan Mifta Chusururi	2018	<i>Studi kinerja pengaruh pencampuran inhibitor ekstrak daun pegagan dengan inhibitor sarang semut dan inhibitor ekstrak daun urang-aring dengan inhibitor ekstrak sarang semut terhadap ketahanan korosi baja api 5l grade b dalam larutan 1M HCl dengan variasi temperature</i>
Alip Dwi Sulistiawan	2018	<i>Studi pengaruh penambahan kalium iodida dalam inhibitor organik ekstrak sarang semut terhadap laju korosi baja api 5L grade b dalam larutan HCl 1M dengan variasi temperatur.</i>



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian, harus memiliki tahapan prosedur yang harus diikuti, langkah langkah yang harus dilakukan oleh peneliti secara terstruktur dan runtut, adapun prosedur yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:



3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahapan awal yang harus dilakukan oleh setiap peneliti sebagai dasar acuan yang sudah ada, seperti mempelajari secara singkat dari penelitian yang sudah ada dan mencari sumber yang dapat kita jadikan sebagai pedoman dalam penelitian atau acuan itu sendiri. Tujuan paling mendasar adalah untuk meyakinkan pembaca bahwa penelitian . adapun manfaat yang dapat diperoleh dari studi literatur adalah mengevaluasi penelitian terkait sebelumnya dan untuk pengembangan dengan penelitian kita.

3.2.2 Penentuan Konsentrasi Inhibitor

Berdasarkan Referensi dan panduan yang ada, inhibitor korosi biasa digunakan pada ukuran apprx. 1g/L. Namun pada beberapa inhibitor korosi seperti Benzoate membutuhkan ukuran yang lebih, sebanyak 10-15g/L (Wranglén, 1972)

3.2.3 Experimental

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah Baja API 5L Grade B, pemilihan dari material ini diaplikasikan pada lingkungan korosif yang mana biasanya pipa ini digunakan sebagai pipa penyalur minyak dan gas. Material ini merupakan golongan baja karbon rendah yang rentan terkorosi. Dibandingkan baja jenis lain, seperti weathered steel, high alloy steel ataupun stainless steel, ketahanan korosi dari baja API 5L tergolong paling rendah. Oleh karena itu digunakan material ini untuk penelitian pengaruh laju korosi terhadap penambahan konsentrasi inhibitor.

Selain pemilihan material hal yang lain adalah memilih bahan inhibitor yaitu biji mangga ini dipilih karena disinyalir memiliki kandungan senyawa tannin, flavonoid dan antioksidan yang dapat menghambat laju korosi.

Pemilihan elektrolit HCl 1 M karena pada pengaplikasian industri, HCl biasanya digunakan sebagai chemical cleaning pada *tank* atau pada *condenser*. Selain itu HCl adalah asam yang paling sulit dikendalikan pada proses korosi.



Pengujian seperti GC-MS, Weightloss, Polarisasi, EIS, FTIR, SEM-EDX dan AAS dilakukan untuk mendapatkan data pendukung penelitian.

3.2.4 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Rotary evaporator
2. Peralatan uji GC-MS
3. Peralatan uji *Weight Loss*
4. Peralatan uji Polarisasi
5. Peralatan uji EIS
6. Peralatan uji FTIR
7. Peralatan uji AAS

3.2.5 Bahan Penelitian

1. Material

Material yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Baja API 5L Grade B. Untuk ukuran dalam pengujian *Weight Loss* 20x20x3 mm, sedangkan untuk pengujian EIS dan polarisasi dengan baja yang sama berukuran 10x10x3 mm. untuk komposisi baja API 5L Grade B:

Tabel 3.1 Komposisi kimia dari Baja API 5L Grade B

Unsur	C	Si	Mn	P	S
%	0,23	0,23	0,47	0,013	0,01
Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Cr
0,033	0,18	0,03	0,01	0,001	0,033

2. Inhibitor



Inhibitor yang digunakan pada penelitian kali ini adalah ekstrak daun kelor. Untuk penelitian inhibitor ini, ekstrak daun kelor divariasikan pada konsentrasi 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 (mg/L).

3. Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan sebagai media korosi pada penelitian kali ini adalah HCl 1M.

4. Air sabun

Digunakan untuk membersihkan spesimen yang telah diuji *weightloss*.

5. Aquades

Aquades berperan sebagai campuran untuk larutan elektrolit HCl 1M.

3.2.6 Preparasi Inhibitor

3.2.6.1 Preparasi dan Ekstrak Daun Kelor

Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) mengalami beberapa perlakuan yaitu:

1. Daun kelor diproses menjadi serbuk :

- Memisahkan daun kelor dengan rantingnya, lalu dijemur selama 1 minggu (tidak terpapar langsung sinar matahari)
- Dihaluskan pada mesin blender
- Disaring sampai dihasilkan produk serbuk halus (± 1000 gram)

2. Untuk mengekstraksi daun kelor sebagai inhibitor alami.

- Menyiapkan alat dan bahan yaitu kertas saring, gelas ukur 1000 ml, jiriken 25L, *rotary evaporator*, corong kaca, blender, spatula, ± 1000 gram serbuk daun kelor dan larutan methanol 70%
-



- Melakukan maserasi yaitu perendaman serbuk daun kelor dengan pelarut 12.629L methanol 70% dalam jiriken 25L (72jam). Dan mengaduk beberapa kali agar serbuk homogen
- Menyaring hasil maserasi dengan kertas saring sehingga dihasilkan ekstrak air dan ampas
- Mengevaporasi ekstrak air hasil maserasi menggunakan *rotary evaporator*
- Hasil dari *rotary evaporator* dijadikan sebagai inhibitor green corrosion.



Gambar 3. 2 Rotary evaporator

3.2.7 Preparasi Spesimen

Dalam penelitian ini menggunakan baja API 5L Grade B, ukuran spesimen untuk pengujian weightloss adalah 20x20x3mm sedangkan untuk pengujian EIS dan Polarisasi adalah 10x10x3mm.



3.2.7.1 Spesimen uji weightloss

1. Memotong baja API 5L Grade B dengan ukuran 20x20x3mm sebanyak 15 buah.
2. Membungkus spesimen dengan isolasi hitam/resin untuk menutupi permukaan sehingga ukuran menjadi 10x10x3mm.
3. Mengamplas permukaan spesimen dengan kertas amplas grade 80 hingga grade 1000.

3.2.8 Preparasi Larutan Elektrolit

Pada penelitian ini untuk larutan elektrolit menggunakan larutan elektrolit HCl dengan konsentrasi 1M. Proses pembuatan larutan terdiri dari beberapa langkah yaitu:

1. Menyiapkan HCl 37% sebanyak 84ml
2. Menyiapkan aquades sebanyak 916ml
3. Melakukan pengenceran HCl, sehingga menjadi 1M
4. Menyiapkan ekstrak inhibitor sesuai konsentrasi yang diinginkan, misalnya 1000ppm adalah 1gr/L larutan elektrolit.
5. Mencampurkan ekstrak inhibitor kedalam larutan elektrolit.

3.2.9 Pengujian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa pengujian yang akan dilakukan sebagai data pendukung diantaranya yaitu:

3.2.9.1 Pengujian GC-MS

Pengujian GC-MS dilakukan di Unit Layanan Penelitian Farmasi, Universitas Airlangga. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa aktif yang terdapat dalam daun kelor yang telah di maserasi 72jam menggunakan methanol 90%. GC-MS merupakan metode pemisah senyawa organik yang menggunakan 2 metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk



menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrum massa untuk menganalisis struktur molekul senyawa analik.

Metode analisa GC-MS memiliki prinsip dengan membaca spektra yang GC apabila terdapat sampel yang mengandung banyak senyawa yang terlihat dari banyaknya peak dan informasi terpenting yang di dapat adalah waktu retensi untuk tiap-tiap senyawa dalam sampel. Untuk spektra MS, diperoleh informasi mengenai massa relatif molekul dari senyawa sampel.

Preparasi dan mekanisme untuk pengujian GC-MS meliputi hal berikut :

1. Melarutkan daun kelor yang telah diekstrak menggunakan metode maserasi dengan larutan ethanol 96% menggunakan heksan
2. Menginjeksikan larutan pada injector alat GC-MS
3. Mengatur temperature awal 80°C temperature akhirnya 220°C
4. Menguapkan hasil ekstrak daun kelor dan mengalirkannya ke dalam column
5. Senyawa-senyawa yang terdapat pada ekstrak kulit dan biji alpukat dideteksi oleh detector yang akan menghasilkan grafik kandungan senyawa dalam bentuk peak. Yang mana setiap peak ini dibandingkan hasilnya dengan standard (data MS)



Gambar 3. 3 Alat pengujian GC-MS



3.2.9.2 Pengujian Weightloss

Pengujian weightloss adalah metode pengujian besar laju korosi (mppy) pada suatu material dengan cara menghitung selisih dari berat awal dan berat akhir dari material tersebut. Adapun proses pengujian weightloss berdasarkan standard ASTM G-31 "Laboratory Corrosion Testing of Metals" :

1. Menimbang berat awal masing-masing spesimen uji.
2. Melilitkan spesimen dengan benang nylon.
3. Menggantungkan spesimen uji pada stik es.
4. Merendam spesimen dalam toples kaca yang berisi larutan elektrolit dan masing masing sampel inhibitor dengan konsentrasi 0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 (mg/L).
5. Mengambil spesimen setelah 3 jam.
6. Mencuci pada air sabun kurang lebih selama 3 menit dan mengerikannya lalu menimbang berat akhir dari spesimen.

3.2.9.3 Pengujian Polarisasi Potensiodinamik

Pengujian polarisasi potensiodinamik dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Jurusan Teknik Materil dan Metalurgi FTI ITS Surabaya.

Pengujian ini dengan menggunakan alat uji CorrTest dengan software CS Studio5. Yang terdiri dari elektroda acuan, elektroda kerja, dan elektroda bantu yang bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan HCl 1M dengan konsentrasi inhibitor konsentrasi 0. 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 (mg/l) dan campuran inhibitor dengan perbandingan (30%:70% ; 50%:50% ; 70%:30%) dengan konsentrasi maksimal dari pengujian tunggal setiap inhibitor. Dan akan didapatkan pula kurva polarisasi potensial material yang digunakan dengan acuan standard ASTM G-5 (*Standard Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurement*).

Prosedur pengujian polarisasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (1M HCl dan ekstrak masing- masing sampel inhibitor dengan konsentrasi inhibitor konsentrasi 0.



- 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 (mg/l) gelas ukur 1000ml, heater untuk mengatur temperature (30,40,50,60,70 °C) dan alat pengujian polarisasi beserta komponennya.
2. Memasang elektroda pada rangkaian polarisasi
 3. Menyalakan alat uji polarisasi potensiodinamik CorrTest.
 4. Mengaktifkan program CR Studio5 dan memasukkan parameter pengujian lalu menjalankan program.



Gambar 3. 4 Alat pengujian polarisasi

5. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (1M HCl dan ekstrak masing- masing sampel inhibitor dengan konsentrasi inhibitor konsentrasi 0. 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 (mg/l) gelas ukur 1000ml, heater untuk mengatur temperature (30,40,50,60,70 °C) dan alat pengujian polarisasi beserta komponennya.
6. Memasang elektroda pada rangkaian polarisasi
7. Menyalakan alat uji polarisasi potensiodinamik CorrTest.
8. Mengaktifkan program CR Studio5 dan memasukkan parameter pengujian lalu menjalankan program.



Adapun parameter yang digunakan dalam uji ini adalah sebagai berikut

Tabel 3. 1 Parameter pengujian potentiodynamic

Elektroda Kerja (WE)	API 5L Grade B
Elektroda Bantu (CE)	Grafit
Elektroda Acuan (RE)	Hg/HgCl
Densitas(gr/cm^3)	7.86
Luas sampel(cm^2)	1
Scan Rate (mV/s)	10

3.2.9.4 Pengujian EIS

Pengujian EIS dilakukan untuk mengetahui mekanisme korosi dan mekanisme inhibisi yang terjadi dan diimplementasikan dalam ketahanan logam sampel terhadap aliran arus yang melaluinya. Metode ini berdasarkan respon sirkuit terhadap voltase AC. Sebagai fungsi frekuensi. Pengukuran impedansi elektrokimia dilakukan pada kondisi potensiostatik dengan menggunakan software Zview pada alat CorrTest gelombang sinus AC dengan amplitude 10mV dengan real nilai part (Z') maupun imaginary part (Z'') diukur pada berbagai frekuensi dalam range 10000 Hz sampai 0.1 Hz. Nilai ketahanan transfer muatan (R_{ct}) diperoleh dari diameter *semicircles* dari *Nyquist* plot.

Prosedur pengujian polarisasi adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen, campuran larutan (1M HCl dan ekstrak masing- masing sampel inhibitor dengan konsentrasi inhibitor konsentrasi 0. 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 (mg/l) gelas ukur 1000ml, dan alat pengujian polarisasi beserta komponennya.
2. Memasang elektroda pada rangkaian EIS
3. Menyalakan alat uji EIS CorrTest.
4. Mengaktifkan program ZView dan memasukkan parameter pengujian lalu menjalankan program.



Adapun parameter yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut

Tabel 3. 2 Parameter pengujian EIS

Elektroda Kerja(WE)	API 5L Grade B
Elektroda Bantu(CE)	Grafit
Elektroda Acuan(RE)	Hg/HgCl
Densitas(gr/cm^3)	7.86
Luas Sampel(cm^2)	1
Frekuensi Mulai(Hz)	10000
Frekuensi Selesai(Hz)	0.1

3.2.9.5 Pengujian FTIR

Pengujian FTIR ini dilakukan di laboratorium material karakteristik Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS, dengan menggunakan alat uji Nicolet iS10.

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terbentuk pada inhibitor ekstrak biji mangga serta baja API 5L Grade B yang telah dilakukan perendaman dalam uji weightloss. Metode spektroskopi yang digunakan dalam pengujian FTIR adalah metoda absorpsi yaitu suatu metoda yang didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmision cahaya yang melewati *sample*, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dari panjang gelombang tersebut, akan dapat ditentukan gugus fungsi yang bersesuaian dengan Panjang gelombang yang terekam pada masing-masing sampel.



Gambar 3. 5 Alat pengujian FTIR

Adapun langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Menggunakan sel kristal KRS 5 yang berupa silinder merah.
2. Masukkan sel ke dalam holder yang memiliki lubang berbentuk persegi panjang pada bagian tengah, lalu dikunci dengan 4 baut yang tersedia.
3. Ukur BKG terlebih dahulu.
4. Masukkan sampel pada permukaan sel. Kemudian diukur dengan cara pengoperasian yang sama dengan sampel film.
5. Jika diperoleh peak yang sangat lebar, berarti larutan yang dibuat terlalu pekat sehingga perlu dilakukan pengenceran terlebih dahulu menggunakan pelarut organik sampai peak yang dihasilkan menjadi normal

3.2.9.6 Pengujian SEM-EDX

Pengujian yang dilakukan di laboratorium material karakteristik Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS ini dilakukan untuk mendapatkan hasil morfologi dari sampel sebelum dan setelah metode immerse. Serta dengan adanya EDX untuk mengetahui persebaran unsur pada permukaannya. Perbesaran yang dilakukan adalah sebesar 500x dan 2000x.



Mekanisme dalam pengambilan data SEM adalah dengan berkas elektron yang dipancarkan melalui alat, lalu berkas elektron ini akan berkontak dengan permukaan sampel. Setelah berkas elektron berkontak dengan permukaan sampel, selanjutnya berkas elektron akan dipantulkan dan membawa informasi terkait morfologi dari permukaan sampel yang diuji. Berkas elektron yang membawa informasi ini akan terabsorpsi dan sisanya akan terbantu, disebut juga sebagai *secondary electron* dan yang terhambur balik akan tertangkap oleh *back scattered electron*. Elektron inilah yang disebut dengan *primary electron*.

Langkah dalam pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel dan meletakkannya pada holder yang tersedia.
2. Holder dimasukkan ke dalam alat uji, kemudian akan diamati melalui layar komputer.



Gambar 3. 6 Alat uji SEM-EDX

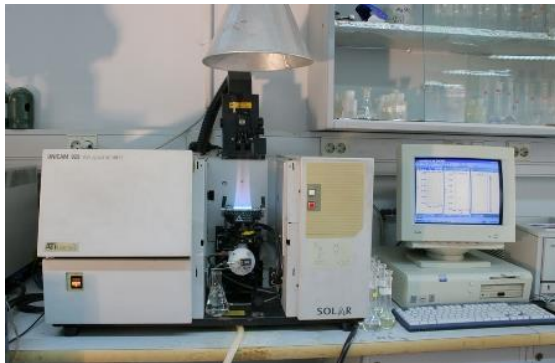
3.2.9.7 Pengujian AAS

Pengujian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Univerista Airlangga ini bertujuan untuk mengetahui kadar Fe terlarut pada larutan sampel yang telah dilakukan uji weightloss. Pengujian ini dilakukan dengan maksud apakah ada perbedaan



antara larutan tanpa inhibitor dan larutan dengan penambahan inhibitor.

Pada pengujian ini, yang diteliti lebih lanjut adalah kadar Fe terlarutnya. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom, atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung dari sifat unsurnya. Apabila cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang bersangkutan maka sebagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan akan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas loga yang berada pada sel. Nilai absorpsi akan didapatkan dari pengujian ini, lalu dari nilai absorpsi akan didapatkan fungsi tertentu untuk mendapatkan konsentrasi unsur yang diinginkan, pada penelitian kali ini ialah Fe.



Gambar 3. 7 Alat uji AAS

Adapun langkah dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan larutan standar
2. Preparasi sampel
3. Memilih garis resonansi
4. Optimasi kondisi alat
5. Membaca absorbansi larutan standar
6. Membaca absorbansi larutan sampel



- Meninterpolasi absorbansi larutan sampel pada kurva linier

3.3 Rancangan Jadwal Kegiatan

Adapun rancangan jadwal kegiatan yang akan dilakukan selama penelitian tugas akhir berlangsung adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 3 Rancangan jadwal kegiatan

No.	Kegiatan	Minggu Ke-																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1.	Studi Literatur	■	■															
2.	Mengekstrak Bahan			■	■													
3.	Uji GC-MS					■												
4.	Uji FTIR					■	■	■	■									
5.	Uji Weight Loss					■	■	■	■									
6.	Uji EIS dan Polarisasi									■	■	■	■					
7.	Analisa data dan pembahasan											■	■	■	■	■		
8.	Sidang TA																■	■

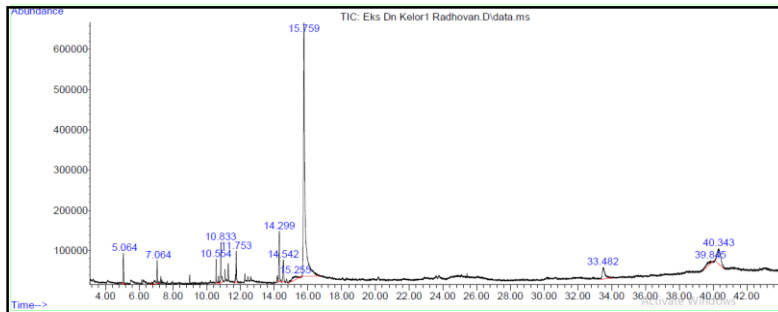


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Hasil Pengujian GC-MS

Pengujian GC-MS dilakukan untuk mengetahui kandungan apa saja yang terdapat pada inhibitor ekstrak daun kelor. Setelah dilakukan proses maserasi pada daun kelor menggunakan metanol, proses selanjutnya adalah dilakukannya ekstrak pada larutan untuk mendapatkan ekstrak yang sesungguhnya menggunakan *rotary evaporator*. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Airlangga. Hasil dari uji GC-MS tersaji pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 1 Hasil pengujian GC-MS

Pada gambar 4.1 terdapat hasil pengujian dari GC-MS, dimana hasil ini berupa *peak-peak* dari senyawa yang dominan muncul pada ekstrak daun kelor. Terdapat beberapa *peak* yang muncul pada hasil pengujian. Selanjutnya *peak* ini akan menunjukkan senyawa yang cocok dan sesuai dengan hasil yang ada, seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

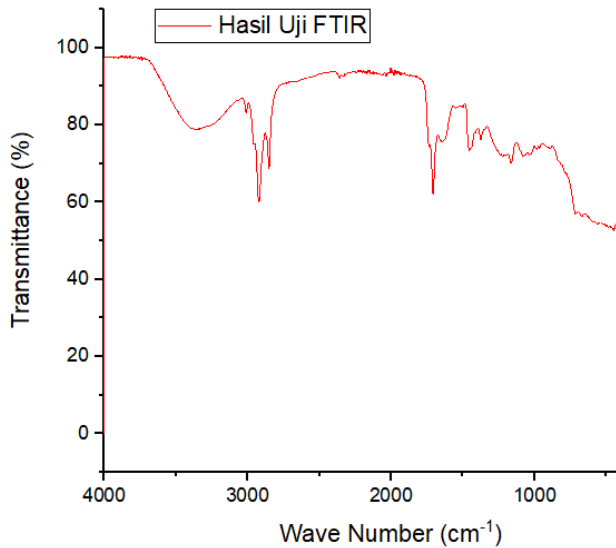


Tabel 4. 1 Hasil Intepretasi pada uji GC-MS

RT	%Area	Senyawa
5064	2.41	2-Chloro-4-(4-methoxyphenyl)-6-(4-nitrophenyl)pyrimidine
10544	1.94	Benzene, 1,1'-[1,2-ethanediylbis]bis-Benzene
10833	3.46	Neophytadiene 2-Butanone,
11753	2.72	Hexadecanoic acid, methyl ester
14299	5.79	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester
14542	2.95	Acetic acid, 3,7,11,15-tetramethyl
15255	2.94	cis-9-Hexadecenal
15759	59.84	Phenol, 4,4'-(1-methylethylidene)
33482	4.67	trans-13-Docosenamide
39485	2.32	1H-1,2,4-Triazole-5(4H)-thione
40343	8.31	2-Methyl-7-phenylindole

4.1.2 Hasil Pengujian FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui karakteristik konten dari ekstrak inhibitor daun kelor dan baja API 5L Grade B setelah proses perendaman pada larutan HCl 1M selama 3jam dengan penambahan inhibitor. Setelah pengujian dilakukan, didapatkan kurtva FTIR dan dapat diketahui gugus fungsi senyawa yang berperan dalam penghambatan laju korosi dengan beracuan pada “*A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*” oleh B.D. Mistry (2009). Dibawah ini adalah gambar (4.2) hasil spektrum FTIR dari inhibitor daun kelor.



Gambar 4. 2 Hasil Spektrum FTIR inhibitor daun kelor

Setelah hasil spektrum didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan interpretasi hasil spektrum, dengan berdasarkan referensi “*A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*” oleh B.D. Mistry (2009) didapatkan gugus fungsi dari tiap-tiap peak yang ada. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 2 Gugus Fungsi FTIR Inhibitor setelah Immerse

No	Wave Number (cm ⁻¹)	Function Group
1.	3369,25	N-H str; O-H str; C=O str.
2.	2921,72	C-H str.
3.	2851,81	C-H str; O-H str.
4.	1708,28	C=O str.
5.	1455,13	C-H def; RNN(O)



Pada gambar FTIR dapat terlihat bahwa muncul peak di beberapa wave number. Seperti pada 3369,25, muncul peak dengan gugus fungsi N-H str; O-H str; C=O str. Pada 2921,72 terdapat gugus fungsi C-H str. Pada peak 2851,81 dengan gugus fungsi C-H str; O-H str. Pada peak 1708,28 dengan gugus fungsi C=O str. Dan terakhir pada 1455,13 dengan gugus fungsi C-H def; RNN(O). Daerah setelah 1400 kebawah menandakan fingerprint dari spektrum hasil IR, sehingga hasil spektrum yang dilihat hanya dengan rentang 4000-1400 cm^{-1} .

4.1.3 Hasil Pengujian Weightloss

Pengujian weightloss dilakukan untuk mengetahui laju korosi pada baja API 5 L Grade B pada larutan asam HCl 1M yang berdasarkan pada pengurangan berat. Setelah dilakukan proses perendaman atau immersion didapatkan laju korosi berdasarkan formula (2.6). Proses pengujian weightloss dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap variabel, formula (2.7) digunakan untuk mencari efisiensi dari inhibitor.

Setelah proses pengujian dilakukan, terjadi pengurangan berat pada sampel dengan inhibitor, faktor yang memengaruhi pengurangan berat adalah waktu perendaman dan konsentrasi inhibitor pada larutan HCl 1M. Berikut adalah hasil dari pengujian weightloss dari inhibitor daun kelor (*Moringa Oleifera*).

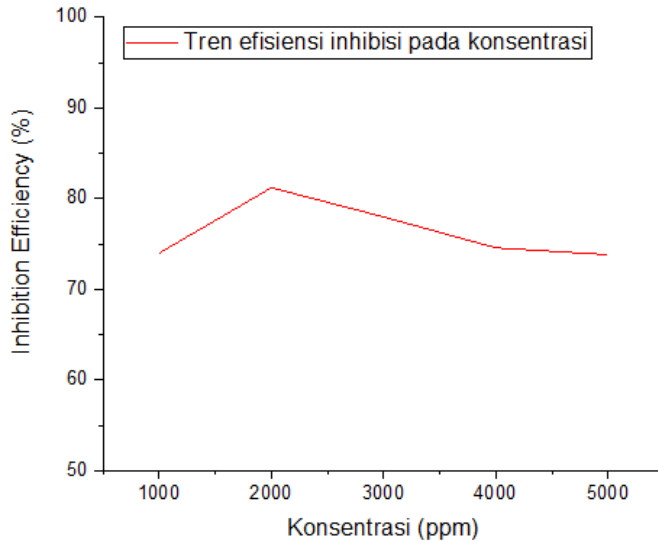


Tabel 4. 3 Laju korosi dan efisiensi inhibisi masing masing inhibitor

Concentration Inhibitor (gr/L)	Corrosion Rate (mmpy)	Inhibition Efficiency (%)
0	0.527	-
1	0.137	74.00
2	0.099	81.21
3	0.116	77.99
4	0.134	74.57
5	0.138	73.81

Pada tabel 4.3 diatas menunjukkan nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi pada masing masing konsentrasi inhibitor dalam larutan HCL 1M dengan waktu perendaman selama 3 jam, terlihat pada konsentrasi inhibitor 2gr/L didapatkan laju korosi terendah sebesar 0.099 mmpy dengan nilai efisiensi inhibisi sebesar 81.21%. Tren profile nilai efisiensi terlihat pada gambar 4.3

Pada gambar 4.3 terlihat efisiensi dari inhibitor daun kelor. Pada penambahan 1gr/L terjadi kenaikan efisiensi inhibitor dibandingkan dengan sampel pada larutan tanpa inhibitor. Lalu pada penambahan 2gr/L terjadi kenaikan efisiensi sebesar 81.21%. Penambahan selanjutnya mengalami penurunan efisiensi, seperti pada penambahan 3gr/L efisiensi menurun menjadi 77.9%. Begitu pula dengan penambahan 4gr/L yang mana menurunkan efisiensi menjadi 74.57%. Lalu terakhir pada penambahan inhibitor sebesar 5gr/L terjadi penurunan sebesar 73.81%. Konsentrasi inhibitor dengan efisiensi tertinggi ini akan diaplikasikan pada pengujian weightloss yang mana sampelnya akan digunakan untuk pengujian selanjutnya.



Gambar 4. 3 Efisiensi inhibitor daun kelor uji weightloss

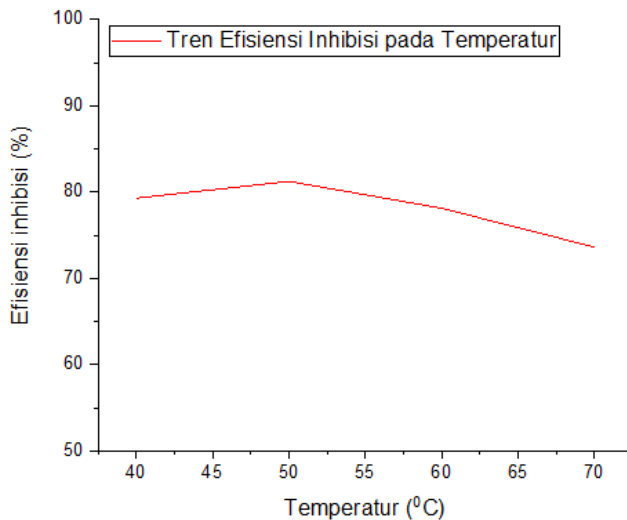
Pengujian weightloss selanjutnya adalah pada variabel temperatur, dimana konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah yang memiliki efisiensi inhibisi tertinggi, yaitu 2gr/L. Setelah dilakukan perendaman sampel selama 3jam pada larutan HCL 1M dengan inhibitor, larutan dipanaskan dengan variasi temperature 40, 50, 60 dan 70 °C. Data yang digunakan adalah pengurangan berat pada tiap-tiap temperature. Setelah itu digunakan formula (2.6) untuk mencari laju korosi (mmpy), seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.



Tabel 4. 4 Laju korosi dan efisiensi inhibisi masing masing temperature

Temperature (°C)	Corrosion Rate (mmpy)	Inhibition Efficiency (%)
0	0.512	-
40	0.106	79.30
50	0.096	81.25
60	0.112	78.13
70	0.135	73.63

Pada tabel 4.4 diatas menunjukkan nilai laju korosi dan efisiensi inhibisi pada masing masing temperatur dalam larutan HCL 1M dengan waktu perendaman selama 3 jam, terlihat pada temperatur 50°C didapatkan laju korosi terendah sebesar 0.096 mmpy dengan nilai efisiensi inhibisi sebesar 81.25%. Tren profile nilai efisiensi terlihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Efisiensi inhibitor pada temperatur tertentu



Pada gambar 4.4 terlihat efisiensi inhibitor pada temperatur tertentu. Pada temperatur 40°C terjadi kenaikan efisiensi inhibitor dibandingkan dengan sampel pada larutan tanpa inhibitor, yaitu sebesar 79.30%. Lalu pada temperatur 50°C terjadi kenaikan efisiensi sebesar 81.25%. Temperatur selanjutnya mengalami penurunan efisiensi, seperti pada temperatur 60°C efisiensi menurun menjadi 78.13%. Lalu terakhir pada temperatur 70°C terjadi penurunan sebesar 73.63%.

4.1.4 Hasil Pengujian Potentiodynamic

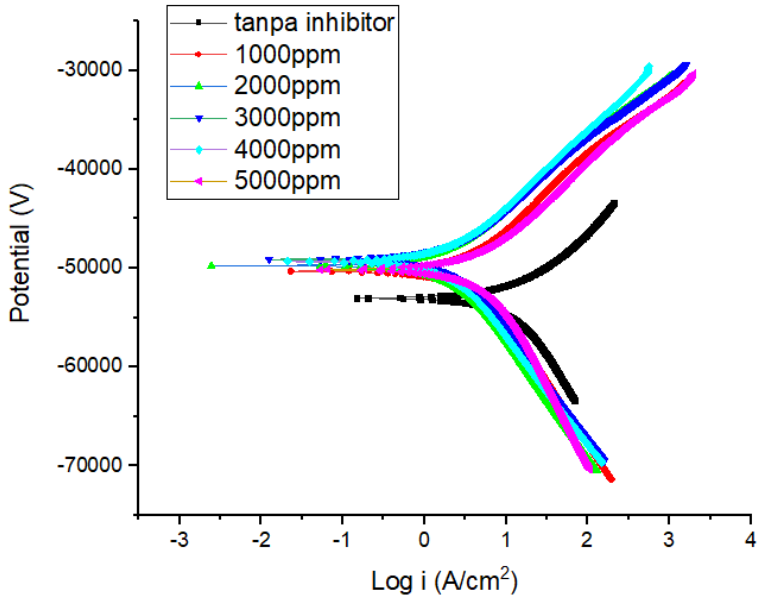
Pada pengujian polarisasi potentiodynamic yang dilakukan di Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi baja API 5L Grade B pada larutan HCl 1M. Terdapat 6 sampel yang digunakan pada percobaan ini, yaitu pertama sampel pada larutan HCl 1M tanpa inhibitor dan sampel pada larutan HCl 1M dengan inhibitor pada konsentrasi 1000-5000ppm. Pada penelitian ini menggunakan alat Wuhan Correst Instrument yang diolah menggunakan software Corrtest v5.5 pada penelitian ini pengujian polarisasi dilakukan dengan inhibitor dengan konsentrasi 1000-5000ppm. Pengujian laju korosi pada kondisi blank(tanpa inhibitor) perlu dilakukan karena sebagai pembanding dengan laju korosi yang menggunakan inhibitor (Jimmy, 2014).

Parameter yang digunakan pada pengujian ini tersaji pada tabel 3.2 Parameter tersebut diinput pada software Cortest 5.5 untuk mendapatkan kurva tafel E vs Log(i). dimana elektroda kerja merupakan sampel uji, elektroda bantu berupa grafit sbagai pensuplai arus ke elektroda kerja dan elektroda acuan sebagai pembanding nilai potensial.

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa ketika penambahan inhibitor dilakukan kurva tafel bergeser kearah yang lebih positif,



potensial korosi konsentrasi blank bergeser dari -0.5303V menjadi -0.4974V dan nilai densitas arus korosi mengalami penurunan dari $17.31 (10^{-5} \text{ A/cm}^2)$ menjadi $2.04 (10^{-5} \text{ A/cm}^2)$.



Gambar 4. 5 Kurva tafel sampel

Pada tabel 4.6 didapatkan beberapa parameter seperti I_{corr} , efisiensi dan laju korosi. Terlihat ketika terjadi penambahan inhibitor nilai I_{corr} menurun. Penurunan nilai I_{corr} ini berbanding lurus pula dengan penurunan potensial dan laju korosi pada sampel. Dengan begitu didapatkan efisiensi tertinggi pada 2000ppm sebesar 88.14% dengan laju korosi sebesar 0.2392mmpy.



Tabel 4. 5 Parameter hasil uji potentiodynamic pada sampel

Sampel	E _{corr} (V)	I _{corr} (10 ⁻⁵ A/cm ²)	Corrosion Rate(mmp y)	Efisiens i(%)
Blank	-0.5303	17.31	2.0174	-
1000ppm	-0.5032	3.51	0.4106	79.65
2000ppm	-0.4974	2.04	0.2392	88.14
3000ppm	-0.4912	2.31	0.2706	86.59
4000ppm	-0.4934	2.306	0.2698	86.63
5000ppm	-0.5014	5.05	0.5918	70.67

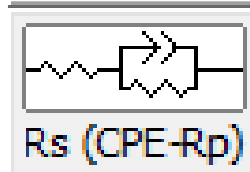
4.1.5 Hasil Pengujian Electrochemical Impedance Spectrometry

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui mekanisme inhibisi pada baja API 5L Grade B dengan penambahan inhibitor. Alat yang digunakan pada pengujian EIS sama seperti pada pengujian polarisasi, yaitu Wuhan Corrtest Instrument dengan software Zview vol5.5. Pada pengujian EIS ini dilakukan sampel pada konsentrasi blank(tanpa inhibitor) dan sampel pada penambahan inhibitor dengan efisiensi tertinggi. Hasil dari pengujian EIS berupa kurva nyquist dengan bentuk setengah lingkaran, dimana sumbu absisnya menyatakan (Z') impedansi nyata, sumbu koordinatnya(Z'') menyatakan impedansi imajiner.

Parameter pada tabel 3.3 yang diinput pada software Zview Corrtest v5.5 sebelum memulai pengujian. Sifat listrik pada baja API 5L Grade B yang tereskpos pada elektrolit dapat dianalisa dengan metode fitting pada software Zview Corrtest v5.5 dan menghasilkan kurva Nyquist. Hasil kurva Nyquist pada konsentrasi blank(tanpa inhibitor) dengan hasil pada sampel dengan inhibitor dapat dibandingkan pada titik yang sama. Adapun

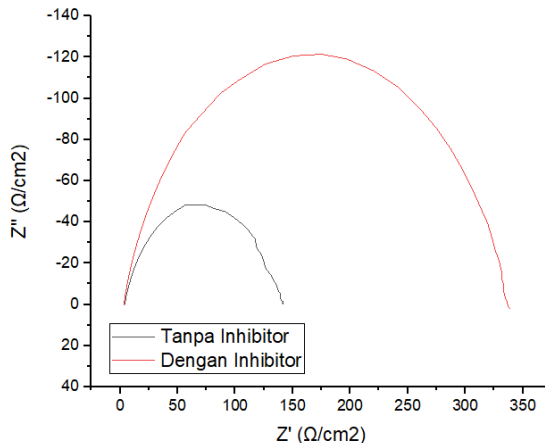


equivalent circuit yang cocok pada kurva Nyquist hasil pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 6 Sirkuit equivalent pada pengujian EIS

Pada gambar 4.6 terlihat parameter sirkuit yang didapatkan pada tabel 4.8, R_s merupakan tahanan larutan, R_p merupakan tahanan logam, CPE adalah konstanta phase element atau biasanya sebanding dengan permukaan double layer dan kurva nyquist setengah lingkaran terbentuk akibat dari tidak homogen permukaan logam, impuritas dan tegangan sisa dll(Souza, 2009).



Gambar 4. 7 Kurva Nyquist hasil EIS kedua sampel

Pada gambar 4.7 kurva Nyquist, sampel blank(tanpa inhibitor) memiliki diameter kurva jauh lebih kecil dibandingkan



sampel dengan inhibitor. Penambahan inhibitor juga menaikkan nilai Rp dari 134.9(Ω/cm^2) menjadi 329.2(Ω/cm^2).

Tabel 4. 6 Parameter Hasil uji EIS pada sampel tanpa inhibitor dan dengan inhibitor

Sampel	Rs(Ω/cm^2)	Rp(Ω/cm^2)	Efisiensi(%)
Blank	3.945	134.9	-
Dengan Inhibitor	3.246	329.2	59.022

Pada tabel 4.6 tersaji beberapa informasi seperti Rs, Rp dan juga efisiensi. Terlihat pada tabel, dengan adanya penambahan inhibitor, terjadi kenaikan pada Rp, serta penambahan inhibitor menyebabkan meningkatnya efisiensi menjadi sebesar 59.022%.

4.1.6 Adsorpsi Isotherm

Melalui perhitungan ini akan didapatkan mekanisme kerja interaksi inhibitor isotherm. Terdapat 2 tipe yang mungkin terjadi pada proses adsorpsi, yaitu physical adsorption dan chemisorption. Hal ini sangat bergantung pada beberapa faktor seperti chemical structure inhibitor, tipe elektrolit, perubahan dan nature dari metal.

Pada organic inhibitor mengadsorpsi pada permukaan yang dapat ditentukan melalui fitted well Langmuir, Frumkin, Temkin adsorption isotherm. Dan tipe mekanisme ditentukan tergantung tipe inhibitor, lingkungan atau elektrolit dan metal. Pada perhitungan Langmuir dirasa paling tepat dengan asumsi :



1. Adsorption membentuk single layer dimana molekul inhibitor pada permukaan baja memenuhi satu tempat dan tidak tersusun lagi.
2. Permukaan baja dianggap tidak homogen
3. Molekul inhibitor yang teradsorption tidak berinteraksi satu sama lain.

Hasil dari perhitungan dari energi bebas adsorpsi terdapat pada tabel dibawah ini

Tabel 4. 7 Nilai energi bebas adsorpsi pada uji weightloss

Temperature(K)	$\Delta G_{ads}(kJ/mol)$
313	-5.040
323	-4.957
333	-4.874
343	-4.791

Menurut (Atria,2014). Dimana ketika nilai energi bebas adsorption berada pada nilai $-20kJ.mol^{-1}$ atau kurang(lebih positif) , cara kerja adsorpsi inhibitor secara interaksi elektrostatis pada permukaan metal (physisorption) sedangkan jika nilai energi bebas adsorpsi berada pada rentangan 20 to $-40 (kJ.mol^{-1})$ cara kerja inhibitor berupa campuran dengan electrostatic(physisorption) dan sharing electron(chemisorption) pada permukaan metal. Sedangkan nilai free energy adsorption lebih dari(lebih negative) $-40 (kJ.mol^{-1})$ inhibitor bekerja secara sharing electron (chemisorption).

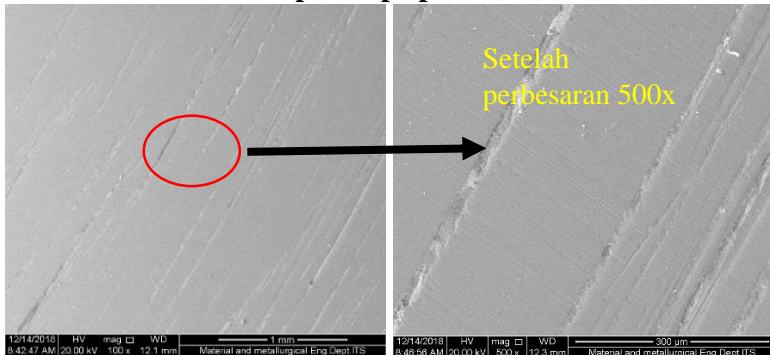
4.1.7 Pengujian SEM dan EDX

Pada pengujian SEM dan EDX dilakukan untuk mengetahui morfologi dan unsur yang terdapat dan tersebar pada permukaan baja API 5L Grade B setelah proses perendaman dalam larutan HCl 1M selama 3jam baik sampel tanpa inhibitor maupun dengan tambahan inhibitor efisiensi tertinggi.



Untuk hasil morfologi dari tiap tiap sampel, dapat dilihat pada gambar 4.8;4.9;4.10:

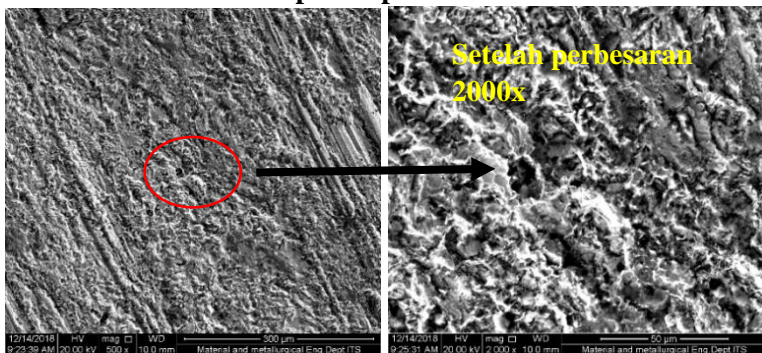
- Hasil SEM sampel tanpa perlakuan



Gambar 4. 8 Hasil SEM pada sampel tanpa perlakuan dengan perbesaran 100x dan 500x

Pada gambar diatas, hasil SEM sampel tanpa perlakuan menunjukkan hasil morfologi permukaan yang bebas dari korosi, tampak jelas permukaan sampel yang homogen dan terdapat beberapa scratch di sisi tertentu pada sampel. Ini menunjukkan bahwa keadaan sampel yang masih belum terkorosi.

- Hasil SEM sampel tanpa inhibitor

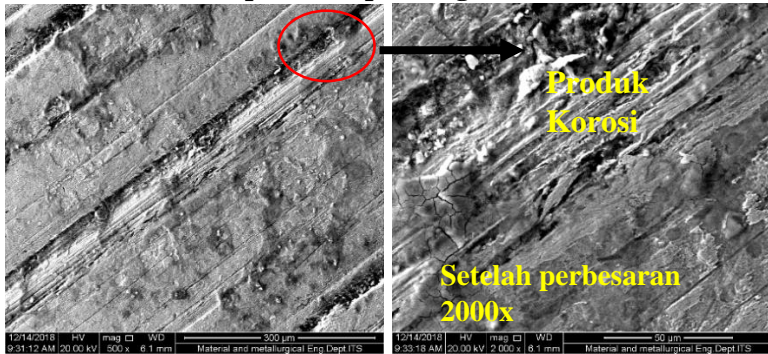


Gambar 4. 9 Hasil SEM pada sampel tanpa inhibitor dengan perbesaran 500x dan 2000x



Pada gambar diatas menunjukkan hasil SEM dari sampel tanpa inhibitor. Terlihat morfologi dari permukaan sampel, dimana terdapat produk korosi hampir menyeluruh di setiap sisinya. Morfologi ini disebabkan oleh adanya oksidasi yang mana menyebabkan ion Fe terlepas dari sampel kerja. Sehingga menghasilkan morfologi permukaan seperti pada gambar diatas.

- Hasil SEM pada sampel dengan inhibitor



Gambar 4. 10 Hasil SEM pada sampel dengan inhibitor dengan perbesaran 500x dan 2000x

Pada gambar diatas menunjukkan hasil dari SEM pada sampel dengan inhibitor. Terlihat morfologi permukaan dari sampel, dimana terdapat produk korosi di beberapa titik. Berbeda dengan morfologi pada sampel tanpa inhibitor, morfologi sampel ini menunjukkan hasil produk korosi yang lebih sedikit dan tidak merata seperti pada sampel tanpa inhibitor. Ini menandakan bahwa inhibitor memengaruhi produk korosi yang ada pada permukaan sampel.

Untuk pengujian lebih dalam, dilakukan uji EDX dimana uji ini bertujuan untuk mengetahui persebaran unsur pada permukaan dari tiap-tiap sampel. Dengan hasil dari EDX, maka akan terlihat perbedaan jumlah unsur pada sampel, sehingga dapat



ditentukan pengaruh inhibitor pada persebaran unsur tiap-tiap sampel

Tabel 4. 8 Hasil EDX tiap sampel

Sampel	%Wt Element			
	C	Cl	Fe	O
Tanpa perlakuan	2.21	-	97.79	-
Tanpa inhibitor	3.14	1.13	90.11	5.62
Dengan inhibitor	2.58	1.06	92.74	3.62

Tabel diatas menunjukkan hasil EDX dari sampel tanpa perlakuan. Melalui hasil ini dapat diketahui persebaran unsur dari permukaan sampel. Berdasarkan hasil yang ada, terdapat dua unsur yang dominan muncul pada peak dari hasil EDX, yaitu Fe dan C. Dengan persentase unsur C sebanyak 2.21% dan unsur Fe sebanyak 97.79%.

Pada sampel tanpa inhibitor. Didapatkan berbagai unsur dominan yang muncul pada peak hasil EDX, seperti C, O, Cl dan Fe. Terdapat tambahan unsur O yang mana sebagai produk dari proses korosi dan unsur Cl yaitu ion dari larutan HCl. Persentase dari unsur C sebesar 3.14%, unsur O sebesar 5.62%, unsur Cl sebesar 1.13%, unsur Fe sebesar 90.11%. terlihat pada persentase unsur Fe mengalami penurunan dibandingkan dengan persentase unsur Fe pada sampel tanpa inhibitor. Pada sampel dengan inhibitor. Hasil EDX menunjukkan persebaran unsur pada permukaan sampel dengan inhibitor. Terdapat unsur-unsur dominan yang muncul pada peak hasil EDX, seperti C, O, Cl dan Fe. Unsur-unsur yang muncul sama seperti pada hasil EDX sampel tanpa inhibitor, namun dengan hasil persentase yang berbeda.



Persentase unsur C sebesar 2.58%, unsur O sebesar 3.62%, unsur Cl sebesar 1.06% dan unsur Fe sebesar 92.74%. Dari persentase ini terlihat persentase unsur Fe dan C lebih tinggi dibandingkan hasil EDX sampel tanpa inhibitor, namun unsur O dan Cl nya lebih rendah.

4.1.8 Hasil Pengujiann AAS

Pada pengujian AAS yang dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Airlangga. Pengujian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui banyaknya Fe terlarut pada larutan HCL 1M yang telah dilakukan uji weightloss dengan perendaman/immerse. Terdapat dua sampel yang digunakan pada pengujian ini. Sampel pertama adalah larutan HCL 1M tanpa inhibitor dan sampel kedua adalah larutan HCL 1M dengan konsentrasi inhibitor tertinggi, yaitu 2000ppm atau 2gram/L. Pengujian ini akan mendapatkan input berupa berapa banyaknya Fe terlarut (ppm). Proses penentuan banyaknya Fe terlarut akan dijelaskan oleh grafik yang ada dibawah ini.

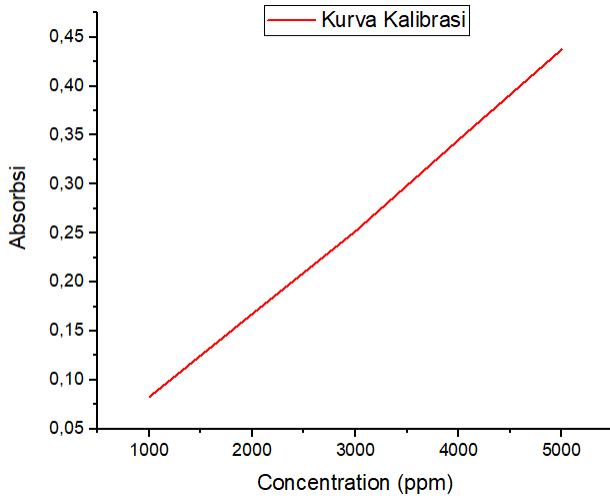
Tabel 4. 9 Metode kalibrasi untuk mendapatkan konsentrasi Fe

Concentration (ppm)	Absorbsi
1.000	0.0828
2.000	0.1676
3.000	0.2519
4.000	0.3452
5.000	0.4374

Tabel diatas menunjukkan nilai absorpsi yang didapatkan pada konsentrasi tertentu, sebagai standar dari pengujian ini. Lalu dari nilai yang telah ada, dapat dicari fungsi dari kurva seperti yang ada diatas, yaitu:



$$Abs = 0.08868conc - 0.00906. \dots \dots \dots (4.1)$$



Gambar 4. 11 Kurva kalibrasi antara absorpsi dan konsentrasi

Dari kurva ini, maka dapat ditentukan konsentrasinya. Berdasarkan nilai absorpsi yang didapat melalui pengujian AAS. Lalu perhitungan dilakukan dengan berdasarkan fungsi yang telah didapatkan pada formula (4.1). Berikut adalah nilai konsentrasi Fe dalam ppm pada 2 larutan sampel tersebut.

Tabel 4. 10 Konsentrasi Fe yang didapatkan

Sampel	Konsentrasi (ppm)	Absorpsi
Tanpa Inhibitor	34,2105	0,5961
Dengan Inhibitor	12,2610	0,2084

Pada tabel 4.10, untuk sampel larutan HCL 1M tanpa inhibitor didapatkan konsentrasi Fe terlarut sebesar 34,2105ppm. Untuk



sampel larutan HCL 1M dengan inhibitor didapatkan konsentrasi Fe terlarut sebesar 12,2610ppm. Terlihat pada hasil ini, terjadi penurunan nilai konsentrasi Fe seiring dengan penambahan inhibitor pada larutan HCL 1M. Data dari pengujian AAS ini akan digunakan sebagai data pendukung untuk menunjukkan adanya hubungan laju korosi dengan seiring penambahan inhibitor.

4.2 Pembahasan

Setelah dilakukannya serangkaian pengujian, dapat disimpulkan bahwa efek penambahan inhibitor ekstrak daun kelor dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L Grade B pada kondisi asam dan kenaikan temperatur, khususnya kondisi 1M HCl dan kenaikan temperatur 40-70°C.

Pada pengujian FTIR, suatu senyawa dapat digolongkan sebagai inhibitor apabila memiliki beberapa unsur yang diindikasikan dapat menjadi inhibitor korosi seperti atom N, O, P, S (Hosseini, 2017). Ini dikarenakan ekstrak bahan organik tersebut memiliki pasangan elektron bebas. Elektron bebas ini akan berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan baja. Sesuai dengan hasil FTIR pada tabel 4.2.

Pada pengujian weightloss, ekstrak inhibitor daun kelor menunjukkan hasil efisiensi yang berbeda pada konsentrasi tertentu. Didapatkan efisiensi tertinggi pada konsentrasi 2gr/L dengan tingkat efisiensi sebesar 81.21%. Selanjutnya inhibitor dengan konsentrasi 2gr/L dijadikan sebagai inhibitor efisiensi tertinggi dan acuan untuk pengujian berikutnya. Secara umum peningkatan konsentrasi inhibitor menyebabkan menurunnya laju korosi hal ini disebabkan jumlah adsorpsi inhibitor pada permukaan metal dan meningkatnya *surface coverage*. kandungan inhibitor seperti saponins, flavanoids, tannis, alkaloids, organic acid heteroatom seperti nitrogen, oksigen, fluor dan cincin aromatic yang mempunyai pasangan electron bebas akan teradsorpsi atau berikatan dengan permukaan logam hal ini akan menghalangi



beberapa unsur seperti chloride (Cl-) dan hydrogen (H+) untuk teradsorpsi ke permukaan metal. Dengan substitusi antara molekul air pada permukaan baja dan molekul organic inhibitor.

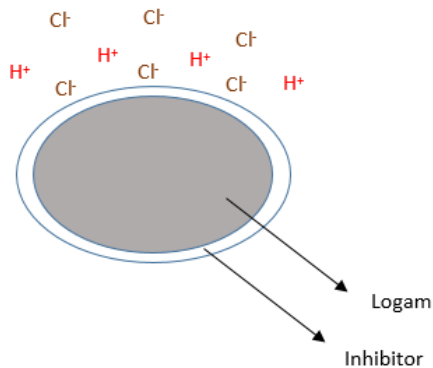
Pada pengujian weightloss selanjutnya, didapatkan efisiensi inhibisi yang berbeda pada tiap-tiap temperatur. Didapatkan nilai efisiensi tertinggi pada temperatur 50°C dengan efisiensi sebesar 81.25%. Kenaikan temperatur hingga 50°C menurunkan laju korosi, namun seiring dengan naiknya temperatur ke titik 60-70°C laju korosi cenderung menurun hal ini dikarenakan laju *desorption* pada inhibitor lebih besar dibandingkan dengan laju *adsorption*, energi yang diterima sistem tidak digunakan untuk meningkatkan laju adsorption sehingga kenaikan temperature menyebabkan terlepasnya ikatan elektostatis molekul inhibitor dengan permukaan baja, sehingga ketika laju desorption tinggi tidak ada interaksi yang menghalangi baja dengan unsur seperti *hydrogen* ataupun *chlorine* yang akhirnya menyebabkan reaksi korosi meningkat. Seperti yang terlihat pada tren gambar 4.3, tren efisiensi meningkat hingga titik temperatur 50°C dan lalu menurun. Hal ini disebabkan oleh senyawa organik yang akan mencapai titik optimum pada temperatur tertentu, lalu akan mengalami proses *denaturing* sehingga menurunkan efisiensinya (Worthington, 2014)

Pada pengujian polarisasi dengan penambahan inhibitor, terlihat bahwa penambahan inhibitor dapat menurunkan laju korosi pada baja API 5L Grade B. Pada konsentrasi 2000ppm efisiensi memiliki nilai tertinggi, lalu menurun hingga konsentrasi 5000ppm. Penurunan nilai efisiensi ini disebabkan oleh terpengaruhnya reaksi redoks, yang mana reaksi ini membuat ikatan physiochemical antara molekul inhibitor dan larutan HCl (Sani, 2018). Nilai potensial korosi dengan penambahan inhibitor terjadi perubahan, dimana jika $(E_{corr} = E_{corr_{uninhibited}} - E_{corr_{inhibited}})$ lebih dari 85mV inhibitor dapat diklasifikasikan katodik atau anodic inhibitor, sedangkan jika nilainya kurang dari 85mV



diklasifikasikan mixing inhibitor (Sulistijono,2014). Pada inhibitor ekstrak daun kelor merupakan tipe mixing inhibitor.

Pada pengujian EIS menunjukkan kurva Nyquist semicircle, bentuk semicircle yang tidak sempurna terjadi akibat penyebaran frekuensi pada permukaan metal yang hererogenety saat adsorption process. Keadaan ini biasanya terjadi akibat kekasaran permukaan, impuritas, dislokasi, adsorption inhibitor dan *porous layer* (De Souza, 2009). Penambahan inhibitor ekstrak daun kelor menurunkan laju korosi hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai R_p pada saat terjadinya pencampuran inhibitor daun kelor pada larutan HCl 1M. Nilai R_p pada sampel dengan inhibitor lebih tinggi dibandingkan pada sampel tanpa inhibitor. Besarnya nilai R_p disebabkan terdapat lapisan barrier yang terbentuk pada permukaan baja akibat adsorpsi molekul inhibitor.



Gambar 4. 12 Mekanisme inhibisi inhibitor daun kelor

Gambar diatas mengilustrasikan bagaimana mekanisme inhibisi dari inhibitor daun kelor. Inhibitor ini bereaksi melalui adsorpsi pada permukaan logam, seperti pada sulfonat yang diadsorpsi tergantung pada muatan permukaan logam (Jovie,2019). Molekul-molekul aktif dari inhibitor ini akan membentuk lapisan barrier yang sangat tipis, yang mana lapisan ini



membatasi terjadinya kontak antara logam dengan lingkungan asam, yaitu HCl. Inhibitor yang bersifat katodik bereaksi dengan molekul pada elektrolit yang mengakibatkan terbentuknya sediment/lapisan pada permukaan sampel, yang mana karena adanya adsorpsi menyebabkan lapisan ini terbentuk pada permukaan baja (Alexandre,2010).

Pada perhitungan thermodynamic dengan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.9. Dimana ketika nilai energi bebas adsorption berada pada nilai -20kJ/mol atau kurang, cara kerja adsorpsi inhibitor secara elektrostatis pada permukaan metal (*physical adsorption*) sedangkan jika nilai energi bebas adsorpsi berada pada rentangan 20 sampai -40kJ/mol maka cara kerja inhibitor berupa campuran dengan electrostatic dan sharing electron(*chemisorption*) pada permukaan metal. Sedangkan bila nilai energi bebas adsorption lebih dari -40kJ/mol maka inhibitor bekerja secara chemisorption (Atria,2014). Dapat dilihat nilai energi bebas terendah terdapat pada temperatur 313K sebesar -5.040kJ/mol dan tertinggi pada temperatur 343K sebesar -4.791kJ/mol . Ini menunjukkan proses adsorpsi yang terjadi adalah campuran, karena nilai energi bebas berada pada 20 sampai -40kJ/mol .

Pada pengujian SEM, didapatkan morfologi dari baja API 5L Grade B yang telah dilakukan perendaman pada larutan HCl 1M. Terlihat ada perbedaan yang mencolok pada gambar 4.8;4.9;4.10. Sampel tanpa perlakuan memiliki morfologi permukaan yang jelas dan tidak ada produk korosi dipermukaannya. Pada sampel tanpa inhibitor, terlihat permukaan baja ditutupi oleh produk korosi dari hasil perendaman pada larutan HCl 1M. Lalu pada sampel dengan inhibitor, tetap terdapat produk korosi pada permukaannya namun produk korosi yang terbentuk tidak sebanyak pada permukaan sampel tanpa inhibitor. Ini membuktikan bahwa adanya inhibitor, dapat menurunkan laju korosi dan mengurangi terjadinya produk korosi pada permukaan



logam. Kesimpulan ini dikuatkan dengan hasil EDX yang mana menunjukkan penyebaran unsur pada permukaan baja API 5L Grade B. Pada sampel tanpa perlakuan, wt% Fe menunjukkan hasil yang tertinggi, namun setelah dilakukan perendaman pada sampel tanpa inhibitor wt% Fe menurun drastis dan dengan tambahan adanya unsur O. Pada sampel dengan inhibitor wt% Fe menunjukkan nilai yang naik kembali, serta unsur O yang menurun. Unsur O yang muncul pada hasil uji ada salah satu produk dari korosi. Sehingga dengan adanya penambahan inhibitor, Fe yang terlepas dari permukaan menjadi lebih sedikit dibandingkan oleh Fe pada sampel tanpa inhibitor, karena diakibatkan oleh proses korosi.

Pada hasil uji AAS menunjukkan Fe terlarut pada tiap sampel, yaitu sampel larutan tanpa inhibitor dan sampel larutan dengan inhibitor. Sampel larutan tanpa inhibitor menunjukkan Fe terlarut lebih tinggi dari sampel dengan inhibitor, dengan nilai sebesar 34,2105ppm. Sedangkan pada sampel larutan dengan inhibitor menunjukkan Fe terlarut lebih sedikit, dengan nilai sebesar 12,2610ppm. Hal ini menunjukkan bahwa adanya penambahan inhibitor, menurunkan laju korosi sehingga Fe yang terlarut menjadi lebih sedikit.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kesimpulan:

1. Penambahan inhibitor ekstrak daun kelor dapat menurunkan laju korosi baja API 5L Grade B pada lingkungan asam. Didapatkan efisiensi tertinggi dengan nilai sebesar 81.21% pada konsentrasi sebesar 2000ppm.
2. Temperatur memengaruhi laju korosi pada inhibitor ekstrak daun kelor. Dimana temperatur 50°C menghasilkan efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 81.25%.
3. Mekanisme inhibisi pada inhibitor ekstrak daun kelor adalah mixing inhibitor. Hal ini ditunjukkan karena nilai E_{corr} yang kurang dari 85mV.

V.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait kandungan apa saja yang terdapat pada ekstrak daun kelor dan hubungannya dengan inhibitor organik.
2. Penggunaan etanol pada proses maserasi sebagai pengganti pelarut metanol.
3. Pengujian EIS, Polarisasi, SEM-EDX, AAS pada konsentrasi yang berbeda



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- A. Anejar. 2013. *Inhibition Of Carbon Steel Corrosion In 1 M Hcl Medium By Potassium Thiocyanate* . Equipe de Ge'nie de l'Environnement et de Biotechnologie: ENSA, Universite' Ibn Zohr, BP 1136, Agadir, Morocco
- ASTM International. (2005). Corrosion Materials.
- Adam, M.E., et. all. 2013. *Extraction, Identification and Quantitative HPLC Analysis of Flavanoids from Sarang Semut (Myrmecodia Pendans)*. Industrial Crops and Products. Vol. 41, pp. 392-396.
- Adiyaksa Febryanto.2017. *Studi Ekstraksi Dengan Metode Soxhletasi pada Bahan Organik Umbi Sarang Semut (Myrmecodia Pendans) sebagai Inhibitor Organik* .Surabaya : Teknik Material dan Metalurgi ITS.
- Ahmad, Zaki. 2006. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. Elsevier: New York
- Aisha M. Al-Turkustani. 2012. *Inhibition of Mild Steel Corrosion Using Plecranthus Tenuiflorus (Shara) Plant as Safe and Green Inhibitor in Acidic Solutions*. King Abdulaziz University: Jeddah KSA
- Alexandre. 2010 . *Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications* . Dariva and Galio: licensee InTech
- ASM Handbook. 2005. *Corrosion Materials volume 13B*. USA : ASTM International.
- ASTM G5-94. 1999. *Standart Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements*.
- Atria Pradityana .2014. *Inhibition of Corrosion of Carbon Steel in 3.5% NaCl Solution by Myrmecodia Pendans Extract*. Surabaya : Teknik Material dan Metalurgi ITS.
- Atria Pradityana. 2017. *Effect of Temperature on the Application of Sarang Semut Extract for Environmentally Friendly Corrosion Inhibitor* .Surabaya : Teknik Material dan Metalurgi ITS.
-



- C. Jeyaprabha, S. Sathiyarayanan and G. Venkatachari. 2006. *Electrochim. Acta*, 51 4080
- Chusururi, M. Alvan. 2018. *Studi Kinerja Pengaruh Pencampuran Inhibitor Ekstrak Daun Pegagan Dengan Inhibitor Sarang Semut Dan Inhibitor Ekstrak Daun Urang-Aring Dengan Inhibitor Ekstrak Sarang Semut Terhadap Ketahanan Korosi Baja Api 51 Grade B Dalam Larutan 1M Hcl Dengan Variasi Temperature*. Surabaya : Teknik Material dan Metalurgi
- Dharmender, Jaglan. 2013. *Pharmacological Activity and Chemical Constituents of Eclipta Alba*. Chandigarh College of Pharmacy: India
- E.E. Oguzie, Y. Li and F.H. Wang. 2007. *Electrochim. Acta*, 52 6966.
- Hui Cang, Zhe Tang .2017. *Study on the Synergistic Effect of Iodide Ion with the Extract of Artemisia Halodendron on the Corrosion Inhibition*. College of Chemistry and Chemical Engineering, Yancheng Institute of Technology: Yancheng
- Janti, Sudiono.2013. *The Scientific Base of Myrmecodia pendans as Herbal Remedies*. Department of Oral Pathology, Faculty of Dentistry, Trisakti University: Jakarta, Indonesia
- Kalaiselvi, V. 2016. *Microwave assisted green synthesis of Hydroxyapatite nanorods using Moringa oleifera flower extract and its antimicrobial applications*. Department of physics, Sri Sarada College for Women: India.
- M. Hazwan Hussin. 2011. *The effect of Tinospora crispa extracts as a natural mild steel corrosion inhibitor in 1 M HCl* . Material and Corrosion Chemistry Laboratory, School of Chemical Sciences, Universiti Sains Malaysia: 11800 Penang, Malaysia
- M. Shyamala. 2011. *The Inhibitory Action of the Extracts of Adathoda vasica, Eclipta alba, and Centella asiatica on the Corrosion of Mild Steel in Hydrochloric Acid Medium*:



- A *Comparative Study*. Department of Chemistry, Government College of Technology Tamil Nadu, Coimbatore: India
- N. Matinise. 2017. *Green synthesis of novel zinc iron oxide (ZnFe₂O₄) nanocomposite via Moringa Oleifera natural extract for electrochemical applications*. University of South Africa: Africa.
- Oyeyinka, Adewumi T. 2016. *Moringa oleifera as a food fortificant: Recent trends and prospects*. Department of Food, Agric and Bio-Engineering, Kwara State University: Nigeria.
- Papavinasam, Sankara. 2014. *Corrosion Control in the Oil and Gas Industry*. Elsevier: New York
- Rashmi Saxena Pal. 2016. *Pharmacognostic review and phytochemical screening of Centella asiatica Linn*. Pharmacy Department PSIT : India.
- Sazha. 2014. *Aplikasi Sarang Semut (Myrmecodia Pendans) sebagai Inhibitor Korosi pada Baja API 5L Grade B dan AISI 1010 dalam Media 3.5 NaCl 3.5%*. Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS: Surabaya
- Sulistiawan, Alip Dwi. 2018. *Studi pengaruh penambahan kalium iodida dalam inhibitor organik ekstrak sarang semut terhadap laju korosi baja api 5L grade b dalam larutan HCl 1M dengan variasi temperatur*. Surabaya : Teknik Material.
- Valenga, Marcia Gabriela Pianaro. 2016. *Agro-industrial waste and Moringa oleifera leaves as antioxidants for Biodiesel*. Campus gedeteg, department of chemistry, universidade Estadual do Centro-Oeste: Brazil.
- Yuslinur. 2014. *Studi Analisis Campuran Eco-Friendly Inhibitor Ekstrak Sarang Semut (Myrmecodia pendans) dan Daun Sirih Merah (Piper crocatum) terhadap Laju Korosi Baja API 5L Grade B di Lingkungan NaCl 3,5%*. Surabaya : Teknik Material dan Metalurgi ITS.
-



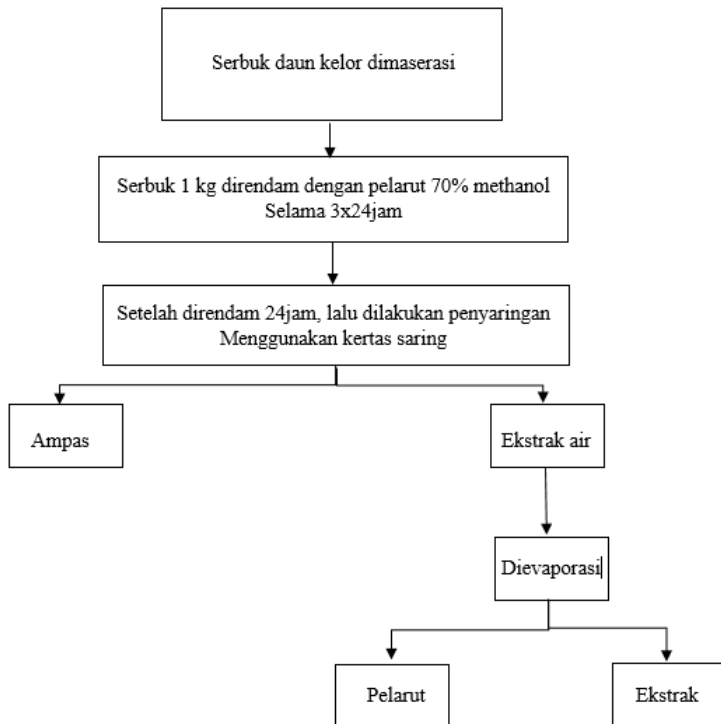
(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN A

SKEMA PENELITIAN

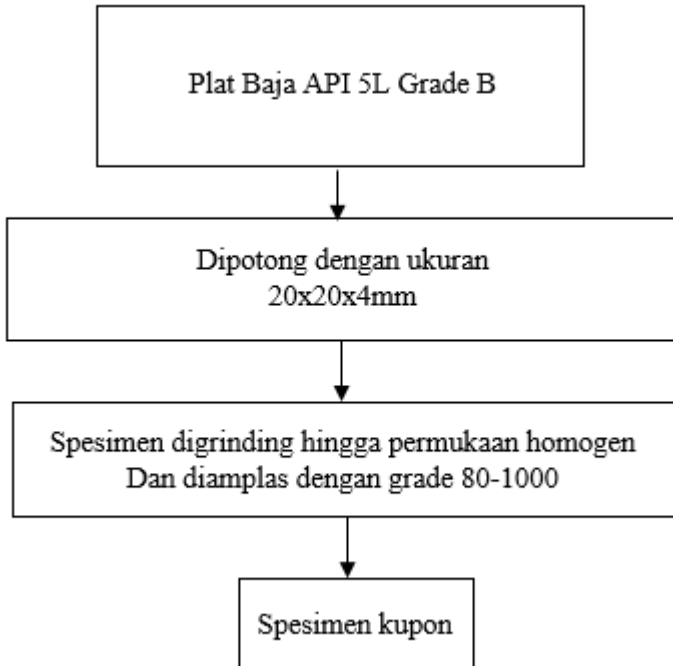
1. Pembuatan Ekstrak Daun Kelor



Gambar A.1 Pembuatan ekstrak daun kelor



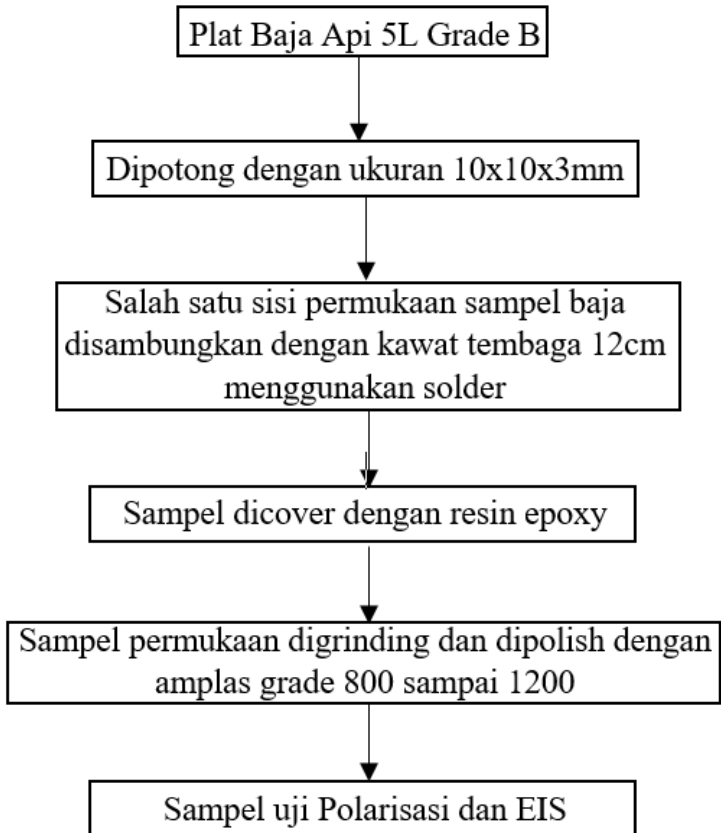
2. Pembuatan Spesimen Kupon



Gambar A.2 Pembuatan spesimen kupon



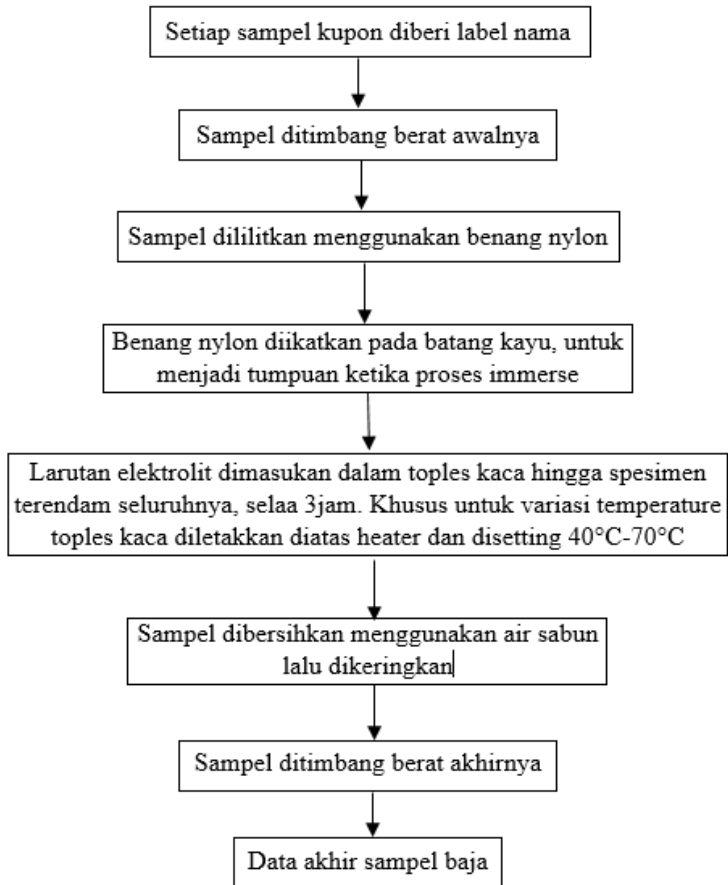
3. Pembuatan Sampel Uji Electrochemical



Gambar A.3 Pembuatan sampel EIS dan Polarisasi



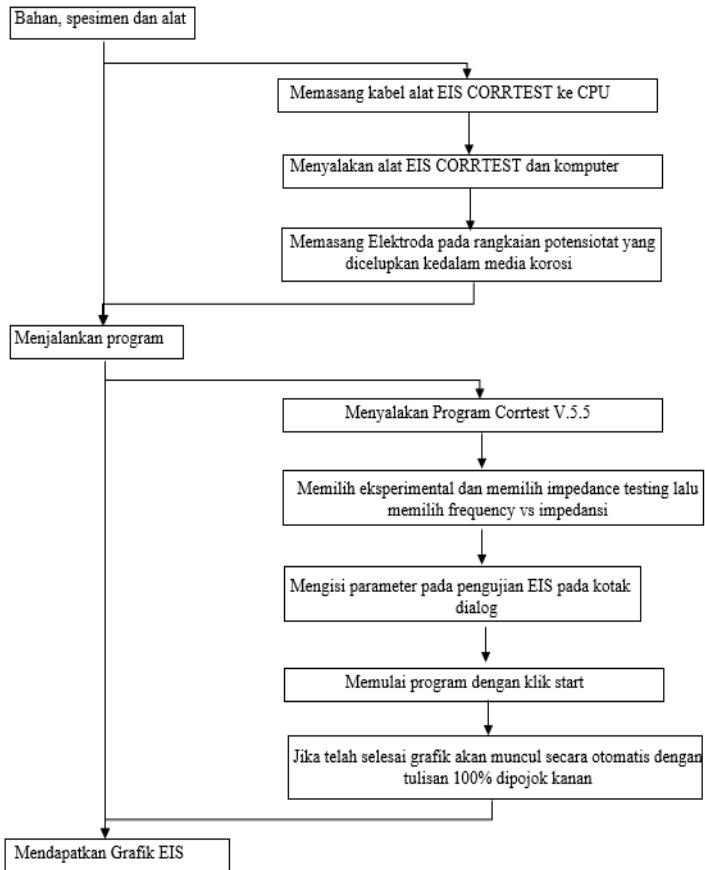
4. Prosedur Uji Weightloss



Gambar A.4 Prosedur uji weightloss



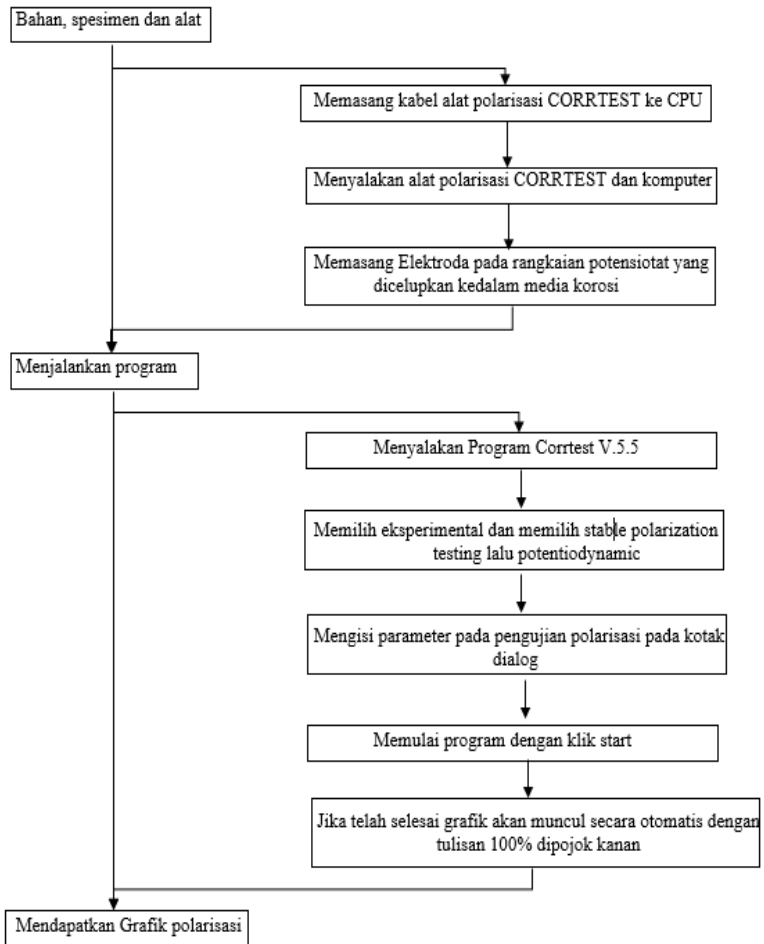
5. Prosedur Uji EIS



Gambar A.5 Prosedur uji EIS



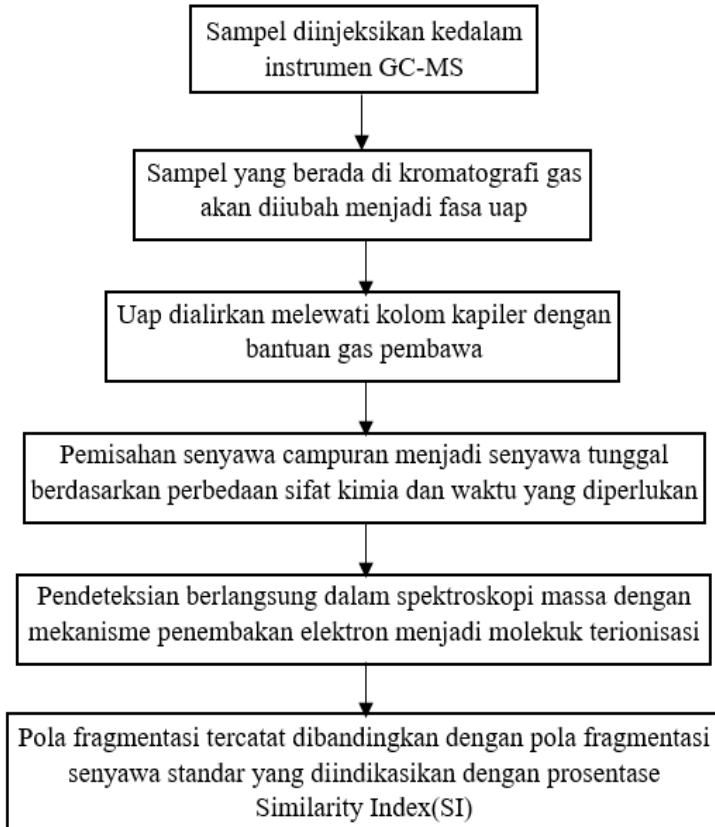
6. Prosedur Uji Polarisasi



Gambar A.6 Prosedur uji polarisasi



7. Prinsip Kerja Uji GC-MS



Gambar A.7 Prinsip kerja uji GC-MS



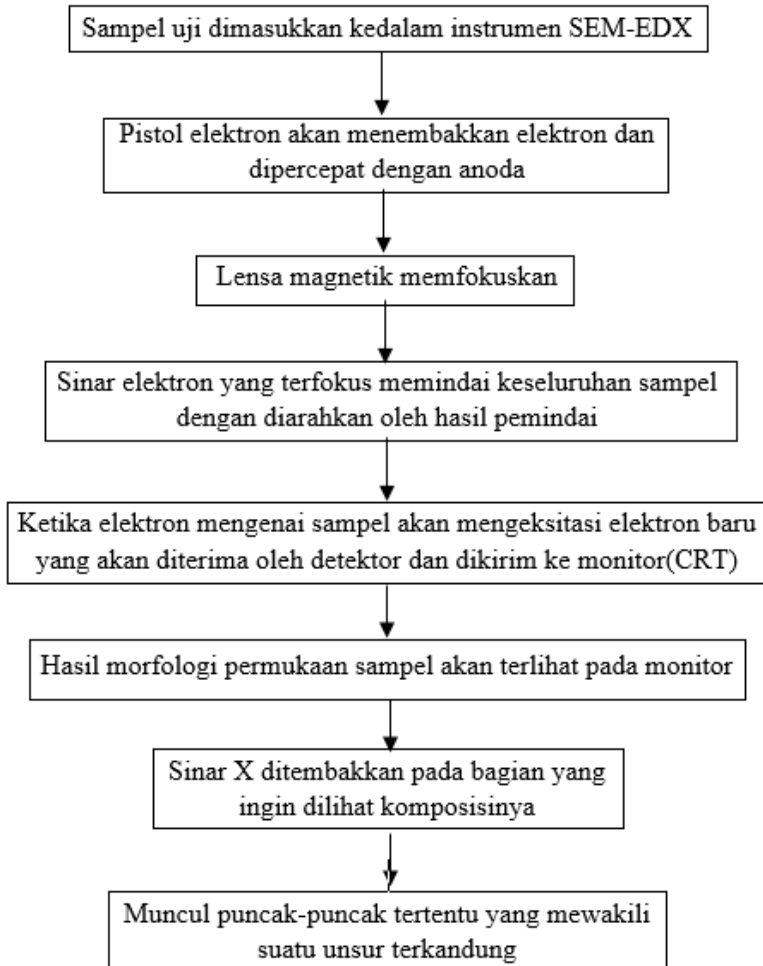
8. Prinsip Kerja Uji FTIR



Gambar A.8 Prinsip kerja uji FTIR



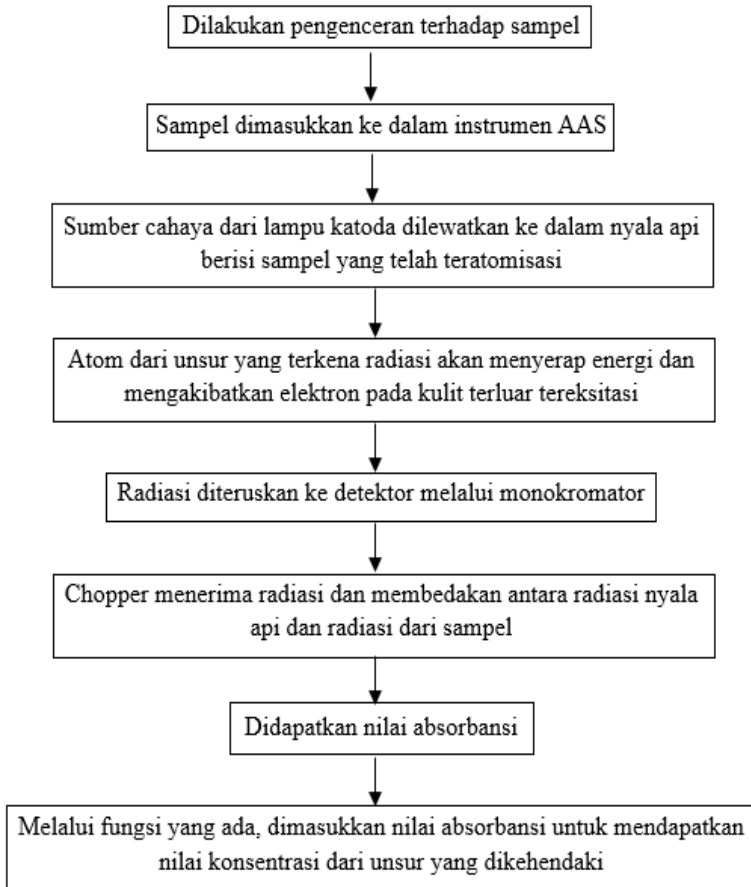
9. Prinsip Kerja Uji SEM-EDX



Gambar A.9 Prinsip kerja uji SEM-EDX



10. Prinsip Kerja Uji AAS



Gambar A.10 Prinsip kerja uji AAS



Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



LAMPIRAN B
PEMBUATAN MEDIA 1M HCl

Pembuatan Larutan HCl 1M

Diketahui :

Berat Jenis HCl : 1,19 g/ml

Mr HCl : 36,5 g/mol

%HCl : 37%

Ditanya

Molaritas?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$

$$M = \frac{37 \times 10 \times 1.19}{36.5}$$

$$M = 12.063 M$$

Dengan asumsi bahwa menggunakan 1000ml HCl 1M maka dilakukan pengenceran dengan rumus:

$$V1 M1 = V2 M2$$

$$V1 \times 12.063 = 1000 \times 1$$

$$V1 = 83.9 \sim 84 \text{ ml}$$

Maka untuk membuat 1L larutan 1M HCl dibutuhkan 84ml HCl 37% kemudian ditambahkan dengan aquades hingga volume total 1 L



LAMPIRAN C

DESKRIPSI PENGUJIAN

C. 1 Electrochemicaal Impedance Spectroscopy (EIS)

Spektroskopi Impedansi Listrik (EIS) merupakan suatu teknik analisis insitu yang digunakan untuk menentukan impedansi suatu sistem. Impedansi adalah resistansi kompleks dari suatu rangkaian listrik yang merupakan respon tersebut berupa sinyal arus AC. Dari situ dapat kita peroleh nilai resistansi dari sistem. Dari nilai resistansi tersebut kita dapat mencari nilai konduktivitas suatu bahan yang merupakan salah satu sifat fisis atau karakteristik suatu bahan. Data EIS umumnya dianalisis melalui pencocokan data dengan rangkaian listrik sebanding (ekuivalen).

Hambatan dalam sistem yang di dalamnya mengalir arus listrik, bak sepotong kawat ataupun dalam larutan elektrolit didefinisikan oleh hukum Ohm:

$$R = \frac{\Delta\phi}{i} \dots\dots\dots (C.1)$$

Dengan R adalah hambatan $\Delta\phi$ adalah beda potensial dan i adalah kuat arus listrik. Bila hambatan dianggap konstan, tidak terpengaruh oleh nilai potensial dan kuat arus, hambatan tersebut bersifat ohmik. Beberapa hambatan dalam sistem elektrokimia bersifat non-ohmik dan tergantung pada potensial. Hambatan adalah besaran ekstensif karena nilainya tergantung pada panjang bahan(L), luas penampang(A) dan hambatan jenis(ρ). Hubungan ketiganya adalah

$$\rho = \frac{RA}{L} \dots\dots\dots (C.2)$$



Dalam larutan elektrolit, definisi konduktansi lebih banyak dipakai. Konduktansi adalah kebalikan dari hambatan. Satuan dari konduktansi(G) adalah siemens(S).

$$1 S = \frac{1}{\Omega} \dots\dots\dots (C.3)$$

Sedangkan konduktivitas, k adalah kebalikan dari hambatan jenis

$$k = \frac{L}{RA} \dots\dots\dots (C.4)$$

Konduktivitas suatu larutan bergantung pada jumlah ion dalam larutan tersebut. Konduktivitas molar didefinisikan sebagai:

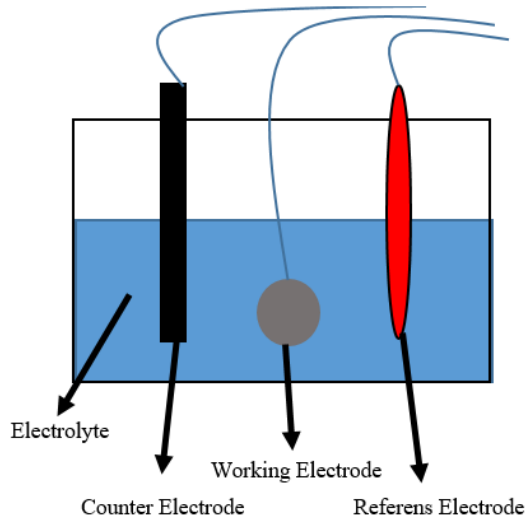
$$\Lambda = \frac{k}{c} \dots\dots\dots (C.5)$$

Rangkaian ekuivalen terdiri dari resistor-resistor ideal, kapasitor ideal dan kemungkinan terjadi variasi distribusi rangkaian. Di dalam sebuah rangkaian, resistansi menyatakan aliran konduktif dan resistor di dalamnya yang dapat dianggap sebagai konduktivitas bulk dari material atau mekanisme yang terkait dengan daerah-daerah polarisasi ruang dan proses absorpsi serta elektrolisis khusus pada suatu elektroda. Selain memiliki kelebihan, metode spektroskopi impedansi juga memiliki kekurangan terutama yang berkaitan dengan analisis berdasarkan rangkaian ekuivalen pada rangkaian ideal yang menggambarkan konstanta yang tidak diinginkan. Dengan demikian elemen-elemen rangkaian ideal dianggap cukup untuk menggambarkan suatu respon listrik. Untuk mengatasi kesulitan tersebut, maka digunakan elemen-elemen impedansi terdistribusi yang dikenal dengan *Constant Phase Elements*(CPEs) didalam rangkaian, sehingga diperoleh fitting data impedansi yang lebih baik.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut.

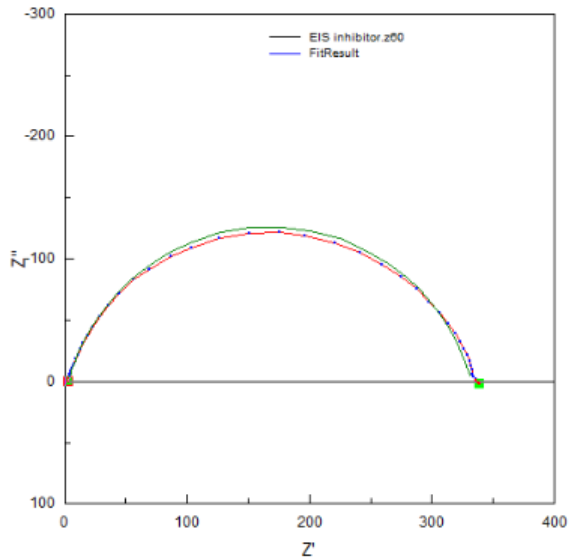


1. Menyiapkan peralatan dan bahan, berupa sampel sebagai *working electrode*, *referens electrode*, grafit sebagai *counter electrode* dan elektrolit yang akan digunakan.



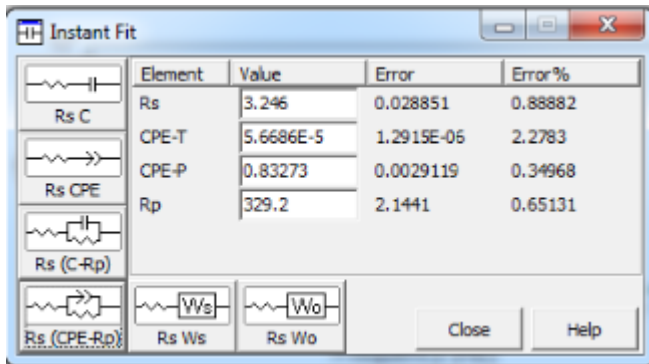
Gambar .1 Rangkaian pada pengujian EIS

2. Menyalakan Wuhan Corrtest Instrument, lalu menyalakan komputer dan menjalankan aplikasi Zview vol5.5.
3. Pilih experiment, lalu pilih impedance spectroscopy, pilih impedance vs frequency
4. Masukkan parameter serta sirkuit yang akan digunakan
5. Setelah pengujian selesai, akan muncul kurva nyquist seperti pada gambar



Gambar C.1 Kurva Nyquist hasil pengujian EIS

- Setelah itu didapatkan nilai R_s , R_p melalui metode fitting dengan nilai sebagai berikut



Gambar C.2 Tampak display dari hasil fitting



R_s adalah tahanan larutan, R_p adalah tahanan logam dan CPE adalah konstanta phase element atau biasanya sebanding dengan permukaan double layer.

C. 2 Potentiodynamic

Potensiodynamik adalah metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik. Korosi logam terjadi jika terdapat arus anodik yang besarnya sama dengan arus katodik, walaupun tidak ada arus yang diberikan di luar sistem. Hal ini disebabkan adanya perbedaan potensial antara logam dan larutan sebagai lingkungannya. Laju korosi dapat ditentukan dengan metode ini dengan menggunakan potensistat dengan tiga elektroda, yaitu elektroda acuan tipe kalomel(SCE), elektroda bantu berupa grafit dan elektroda kerja berupa spesimen baja. Data yang didapat dari metode ini adalah kurva polarisasi anodik/katodik yang menyatakan hubungan antara arus(A/cm^2) sebagai fungsi potensial (V). selanjutnya kurva tersebut diekstrapolasi untuk dapat menentukan laju korosi dan arus korosi melalui persamaan dibawah ini:

$$I_{corr} = \frac{\beta_a \beta_c}{2.303 (\beta_a + \beta_c)} \frac{1}{R_p} \dots \dots \dots (C.6)$$

$$V_{corr} = \frac{3.27 \times 10^{-3} A_e}{\rho} I_{corr} \dots \dots \dots (C.7)$$

Keterangan:

- I_{corr} = Rapat arus korosi ($\mu A/cm^2$)
- $\beta_a \beta_c$ = Slop tafel anodik dan slop tafel katodik
- R_p = Hambatan polarisasi
- V_{corr} = Laju korosi Faraday
- A_e = Massa ekivalen logam (g/mol.ekivalen)
- ρ = Massa jenis logam (g/cm^3)



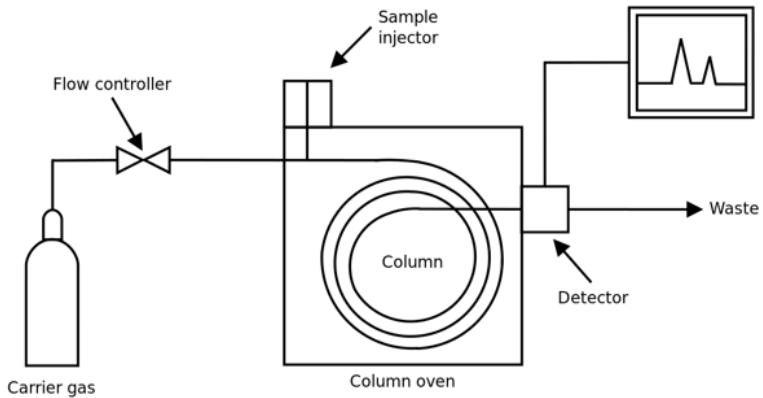
C. 3 Pengujian Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)

GCMS merupakan metode pemisahan senyawa organik yang menggunakan dua metode analisis senyawa yaitu kromatografi gas (GC) untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa (MS) untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit. Gas kromatografi merupakan salah satu teknik spektroskopi yang menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen-komponen penyusunnya. Gas kromatografi biasa digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang terdapat pada campuran gas dan juga menentukan konsentrasi suatu senyawa dalam fase gas. Penggunaan kromatografi gas dapat dipadukan dengan spektroskopi massa. Paduan keduanya dapat menghasilkan data yang lebih akurat dalam pengidentifikasian senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya.

Dalam kromatografi gas, fase yang bergerak (atau "mobile phase") adalah sebuah operator gas, yang biasanya gas murni seperti helium atau yang tidak reactive seperti gas nitrogen. *Stationary* atau fasa diam merupakan tahap mikroskopis lapisan cair atau polimer yang mendukung gas murni, di dalam bagian dari sistem pipa-pipa kaca atau logam yang disebut kolom. Instrumen yang digunakan untuk melakukan kromatografi gas disebut gas chromatograph (atau "aerograph", "gas pemisah"). Spektroskopi massa mampu menghasilkan berkas ion dari suatu zat uji, memilah ion tersebut menjadi spektum yang sesuai dengan perbandingan massa terhadap muatan dan merekam kelimpahan relatif tiap jenis ion yang ada. Umumnya hanya ion positif yang dipelajari karena ion negative yang dihasilkan dari sumber tumbukan umumnya sedikit.



Saat GC dikombinasikan dengan MS, akan didapatkan sebuah metode analisis yang sangat bagus. Peneliti dapat menganalisis larutan organik, memasukkannya ke dalam instrumen, memisahkannya menjadi komponen tinggal dan langsung mengidentifikasi larutan tersebut. Selanjutnya, peneliti dapat menghitung analisa kuantitatif dari masing-masing komponen.



Gambar C.3 Diagram alir kromatografi gas-cair

Tahap-tahap suatu rancangan penelitian GC/MS:

1. Sample preparation
2. Derivatisation
3. Injeksi, menginjeksikan campuran larutan ke kolom GC lewat heated injection port. GC/MS kurang cocok untuk analisa senyawa labil pada suhu tinggi karena akan terdekomposisi pada awal pemisahan.
4. GC separation, campuran dibawa gas pembawa (biasanya Helium) dengan laju alir tertentu melewati kolom GC yang



- dipanaskan dalam pemanas. Kolom GC memiliki cairan pelapis (fasa diam) yang inert.
5. MS detector. Aspek kualitatif : lebih dari 275.000 spektra massa dari senyawa yang tidak diketahui dapat teridentifikasi dengan referensi komputerisasi. Aspek kuantitatif : dengan membandingkan kurva standar dari senyawa yang diketahui dapat diketahui kuantitas dari senyawa yang tidak diketahui.
 6. Scanning, spektra massa dicatat secara reguler dalam interval 0,5-1 detik selama pemisahan GC dan disimpan dalam sistem instrumen data untuk digunakan dalam analisis. Spektra massa berupa fingerprint ini dapat dibandingkan dengan acuan.

C. 4 Pengujian FTIR

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) adalah sebuah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, fotokonduktivitas atau Raman Scattering dari sampel padat, cair dan gas. FTIR digunakan untuk mengamati interaksi molekul dengan menggunakan radiasi elektromagnetik yang berada pada panjang gelombang 0,75-1000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000-10 cm^{-1} . FTIR dapat digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik. Selain itu, FTIR juga dapat digunakan untuk analisa kualitatif meliputi analisa gugus fungsi (adanya 'peak' dari gugus fungsi spesifik) beserta polanya dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu.



Setiap molekul memiliki harga energi tertentu. Bila suatu senyawa menyerap energi dari sinar infra merah, maka tingkatan energi di dalam molekul itu akan tereksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi. Sesuai dengan tingkatan energi yang diserap, maka yang akan terjadi pada molekul itu adalah perubahan energi vibrasi yang diikuti dengan perubahan energi rotasi. Ini mengakibatkan molekul-molekul bervibrasi dimana besarnya energi vibrasi tiap komponen molekul berbeda-beda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubukannya sehingga akan dihasilkan frekuensi yang berbeda.

FTIR digunakan untuk melakukan analisa kualitatif, yaitu untuk mengethau ikatan kimia yang dapat ditentukan dari spektra vibrasi yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Selain itu, digunakan juga untuk analisa kuantitatif, yaitu melakukan perhitungan tertentu dengan menggunakan intensitas. Karakterisasi menggunakan FTIR dapat dilakukan dengan menganalisa spektra yang dihasilkan sesuai dengan puncak-puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi, karena senyawa tersebut dapat menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah inframerah dengan panjang gelombang antara 0.78-1000 μm .

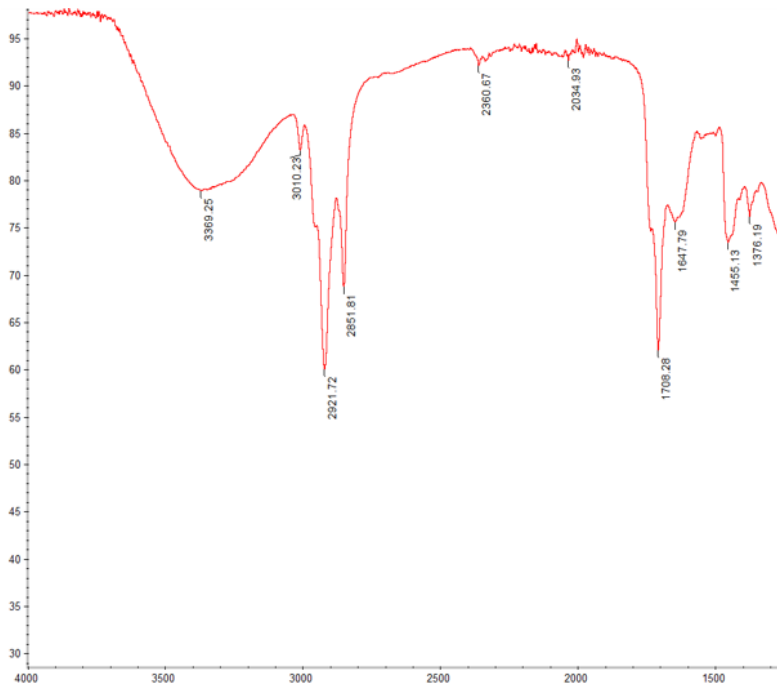
Langkah-langkah pengujian FTIR adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan alat instrumen FTIR dan membuka software FTIR.
2. Masukan holder, sebagai penopang.
3. Mengukur background(BKG) dengan mengklik measure. Akan diperoleh spektrum BKG yang merupakan udara bebas dan gas CO₂. Lakukan sebanyak 45 kali pengukuran.
4. Masukkan sampel yang berupa film/kaca preparat, lalu pasangkan pada holder.



5. Klik measure lalu klik sample. Lakukan sebanyak 45 kali pengukuran.
6. Lakukan smoothing agar spektrum tampak lebih jelas dan rapi.
7. Masukkan keterangan pada spektrum
8. Masukkan angka bilangan gelombang pada peak yang diinginkan.

Setelah serangkaian langkah diatas dilakukan, maka akan didapatkan hasil spektrum pengujian seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar C.4 Hasil pengujian FTIR



Kurva diatas menggambarkan ikatan apa saja yang muncul pada sampel. Sumbu-x sebagai wave length dan sumbu-y sebagai intensitas. Langkah selanjutnya adalah melakukan intepretasi data, masing-masing peak dengan acuan referensi “A Handbook of Sctroscopic Data Chemistry” oleh B.D. Mistry (2009).

Dalam hal pengintepretasian hasil pengujian FTIR, wavelength yang diperhatikan adalah mulai dari 4000-1400, 1400 dan seterusnya adalah fingerprint dari hasil sampel sehingga bisa diabaikan. Pada hasil pengujian terdapat beberapa peak yang muncul, seperti 3369,25;2921,72;2851,81;1708,28;1455,13. Kita ambil contoh pada saat wavelength 2921,72 terdapat peak dengan karakteristik sharp dan medium. Lalu kita lakukan pencocokan pada referensi yang digunakan.

1. Alkanes

-CH ₃	C-H str., asym.	2975-2950	3.36-3.39	m.
	C-H str., sym.	2880-2860	3.47-3.50	m.
	C-H def., asym.	1470-1435	6.80-6.97	s.
	C-H def., sym.	1385-1370	7.22-7.30	m., sh.
-C(CH ₃) ₂	C-H def.	1385-1365	7.22-7.33	s., d.
	Skeletal	1175-1140	8.51-8.77	s., br.
		840-790	11.90-12.66	m.
-C(CH ₃) ₃	C-H def.	1395-1365	7.17-7.33	s, d. ratio 1:2
	Skeletal	1255-1200	7.97-8.33	s., br., d.
		750-720	13.33-13.89	s., br.
-CH ₂ -	C-H str., asym.	2940-2915	3.40-3.45	m. strong if several

Gambar C.5 Pencocokan intepretasi hasil pengujian FTIR

Maka dari hasil intepretasi, didapatkan ikatan C-H *str., asym.* Dan begitu selanjutnya hingga peak akhir yang muncul.



C. 5 Pengujian AAS

AAS atau Atomic Absorption Spectrophotometry adalah suatu instrumen dalam ilmu kimia analitik yang digunakan untuk menentukan kadar suatu unsur dalam senyawa berdasarkan serapan atomnya. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Dengan absorpsi energi, berarti memperoleh lebih banyak energi, suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan tingkat energinya ke tingkat eksitasi. Keberhasilan analisis ini tergantung pada proses eksitasi dan memperoleh garis resonansi yang tepat. Setiap alat AAS terdiri atas tiga komponen, yaitu: unit atomisasi, sumber radiasi dan sistem pengukur fotometrik.

Atomisasi dapat dilakukan dengan baik dengan nyala maupun dengan tungku. Untuk mengubah unsure metalik menjadi uap atau hasil disosiasi diperlukan energi panas. Temperatur harus benar-benar terkendali dengan sangat hati-hati agar proses atomisasinya sempurna. Biasanya temperatur dinaikkan secara bertahap, untuk menguapkan dan sekaligus mendisosiasikan senyawa yang dianalisis. Bila ditinjau dari sumber radiasi, haruslah bersifat sumber yang kontinyu. Di samping itu sistem dengan penguraian optis yang sempurna diperlukan untuk memperoleh sumber sinar dengan garis absorpsi yang semonokromator mungkin.

Seperangkat sumber yang dapat memberikan garis emisi yang tajam dari suatu unsure yang spesifik tertentu dikenal sebagai lampu pijar *hallow cathode*. Dengan pemberiaan tegangan pada arus tertentu, logam mulai memijar, dan atom-atom logam katodenya akan teruapkan dengan pemercikkan. Atom akan



tereksitasi kemudian mengemisikan radiasi pada panjang gelombang tertentu.

C.6 Pengujian SEM-EDX

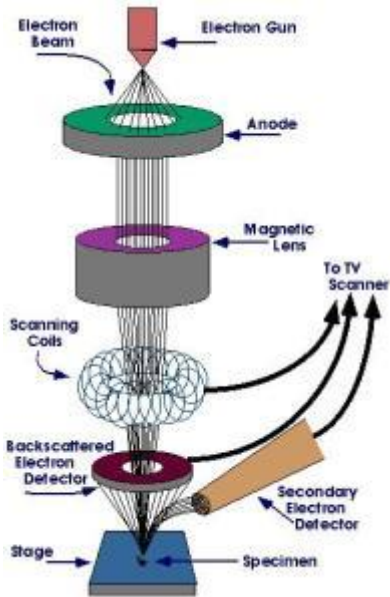
Pengujian material dengan alat SEM (Scanning Electron Microscope) dan EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) serta Auto Fine Coater. SEM digunakan untuk studi detil arsitektur permukaan sel (atau struktur jasad renik lainnya), dan obyek diamati secara tiga dimensi. SEM juga bisa digunakan untuk mengukur ketebalan sample. Sedangkan EDX digunakan untuk mengetahui komposisi unsur dari material. Alat Fine Coater merupakan alat untuk melapisi material yang bersifat non konduktor dengan lapisan metal. Pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama antara lain:

1. Pistol elektron, biasanya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron misal tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

Sampel permukaan patahan yang telah dipersiapkan sebelumnya dimasukkan ke dalam *Sample Chamber*, kemudian ditutup dan menunggu kondisi filamen siap (dinaikkan dayanya perlahan-lahan) selama kurang lebih 20 menit. Setelah mesin siap kemudian ditembakkan SE sebanyak 3 kali di tempat yang sama dengan perbesaran berbeda. Lalu BSE ditembakkan sebanyak 3



kali di tempat yang sama dengan perbesaran berbeda, dan terakhir di cek komposisi menggunakan EDX.



Gambar C.6 Diagram alir pengujian SEM



LAMPIRAN D

PENGUJIAN WEIGHTLOSS

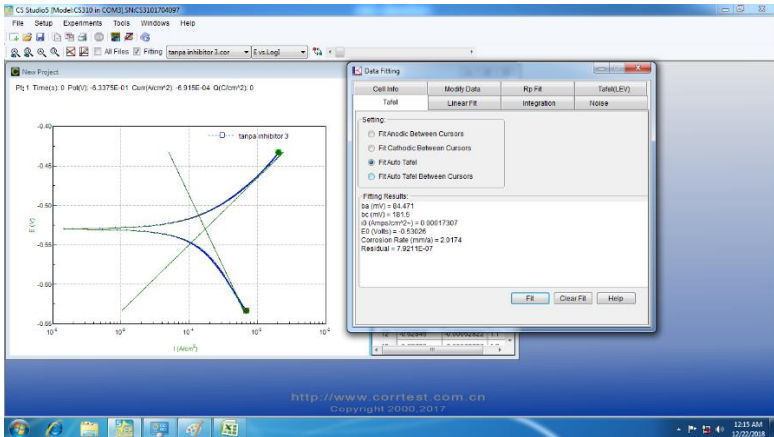
Tabel D.1 Weightloss variasi konsentrasi

Konsentrasi(ppm)	Wo(gr)	Wt(gr)	ΔW (gr)	CR(mm py)	%EI
0	11.8234	11.7732	0.0502	0.527	-
1000	11.5842	11.5721	0.0121	0.137	74.00
2000	10.0275	10.0183	0.0092	0.099	81.21
3000	11.9019	11.8914	0.0105	0.116	77.99
4000	12.3668	12.3534	0.0134	0.134	74.97
5000	10.1844	10.1706	0.0138	0.138	73.81

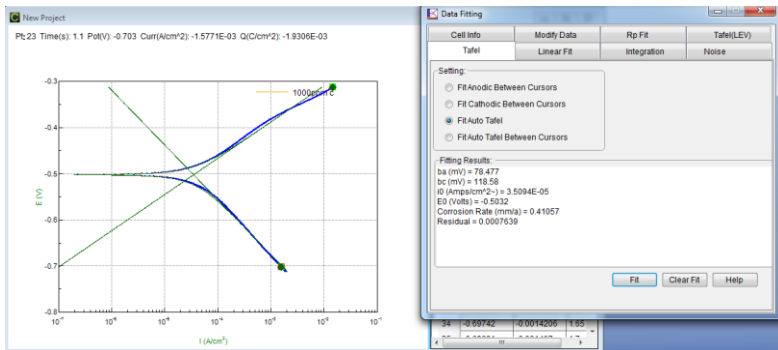


LAMPIRAN E

HASIL FITTING POLARISASI



Gambar E.1 Fitting tafel blank

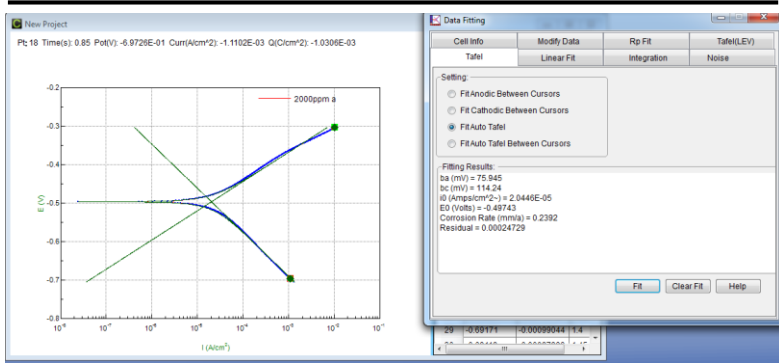


Gambar E.2 Fitting tafel 1000ppm

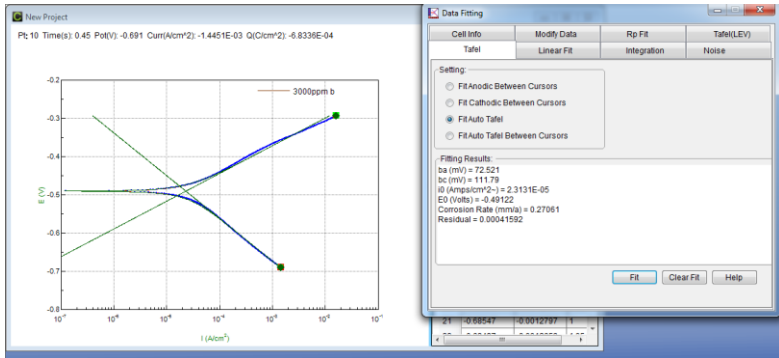


Laporan Tugas Akhir

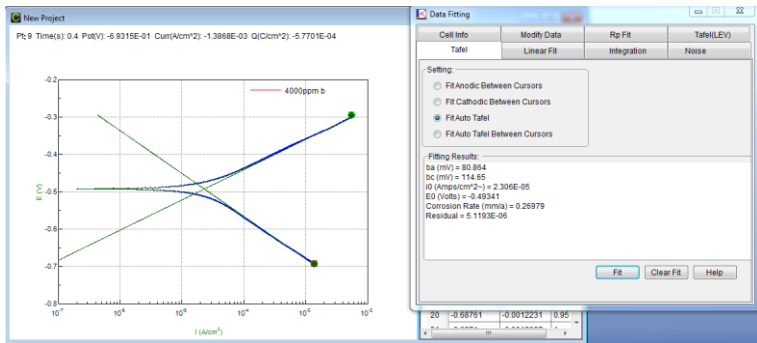
Departemen Teknik Material FTI-ITS



Gambar E.3 Fitting tafel 2000ppm



Gambar E.4 Fitting tafel 3000ppm

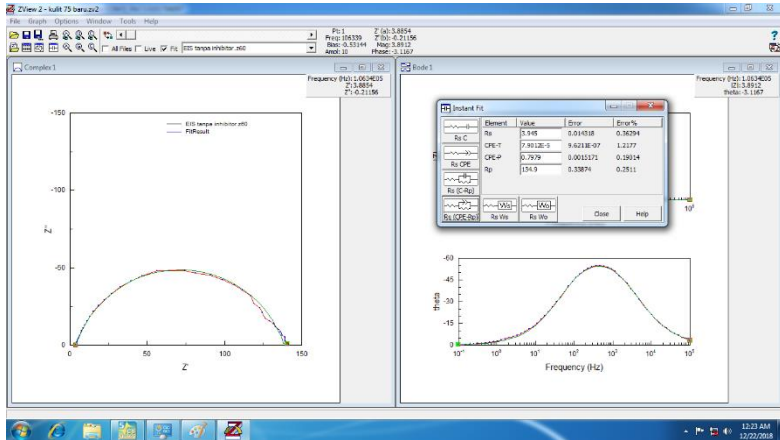


Gambar E.5 Fitting tafel 4000ppm

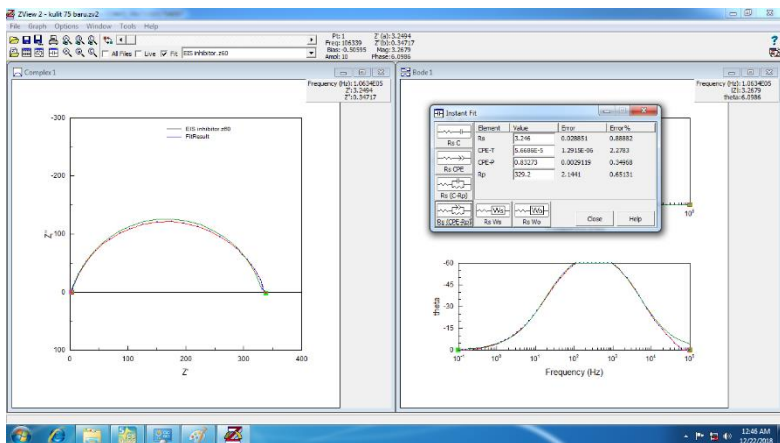


LAMPIRAN F

HASIL FITTING EIS



Gambar F.1 Fitting EIS blank

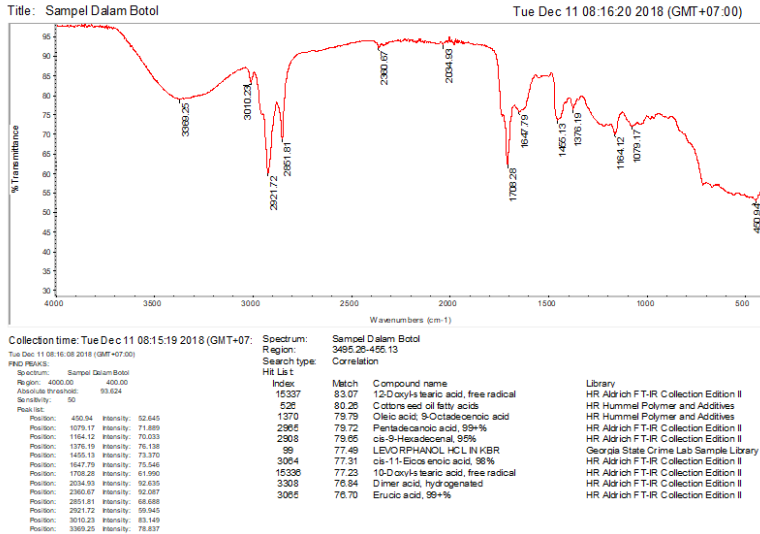


Gambar F.2 Fitting EIS dengan inhibitor



LAMPIRAN G

TABEL PENGUJIAN FTIR

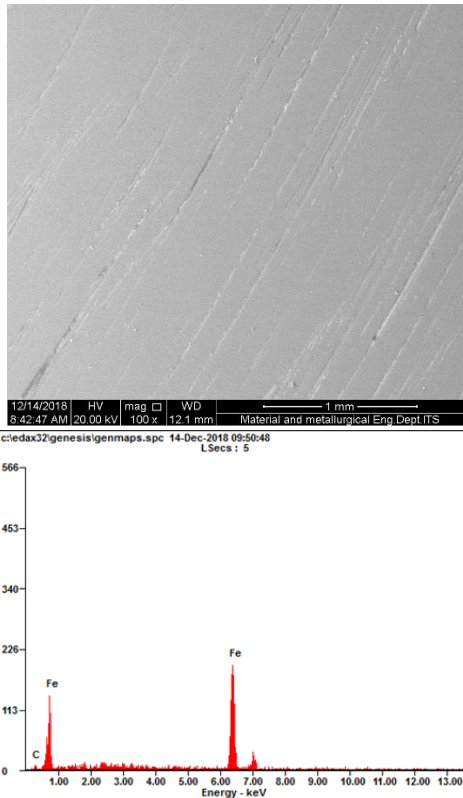


Gambar G.1 Kurva FTIR inhibitor daun kelor



LAMPIRAN H

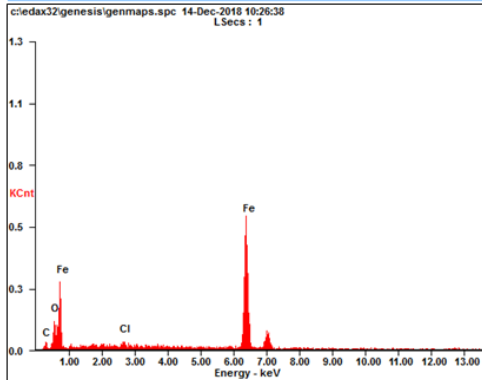
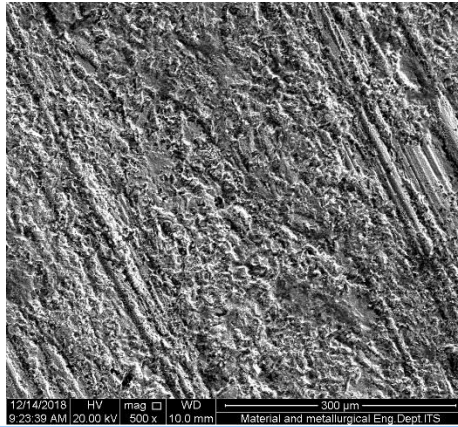
GAMBAR SEM DAN EDX



Gambar H.1 SEM-EDX sampel tanpa perlakuan

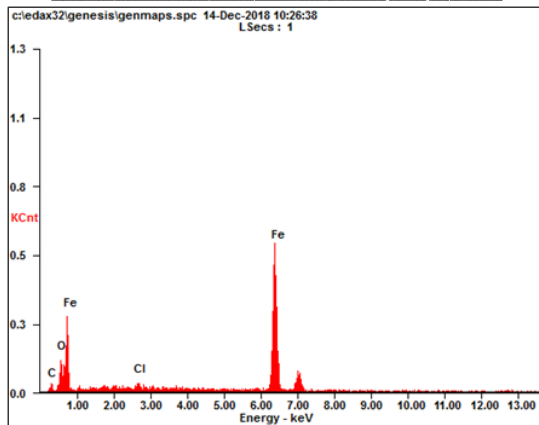
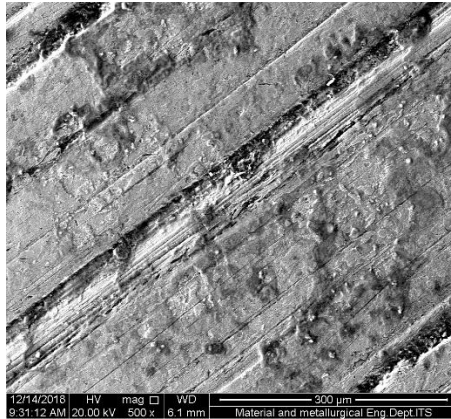


Laporan Tugas Akhir
Departemen Teknik Material FTI-ITS



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	03.14	11.59
<i>OK</i>	05.62	15.55
<i>ClK</i>	01.13	01.41
<i>FeK</i>	90.11	71.45
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Gambar H.2 SEM-EDX pada sampel tanpa inhibitor

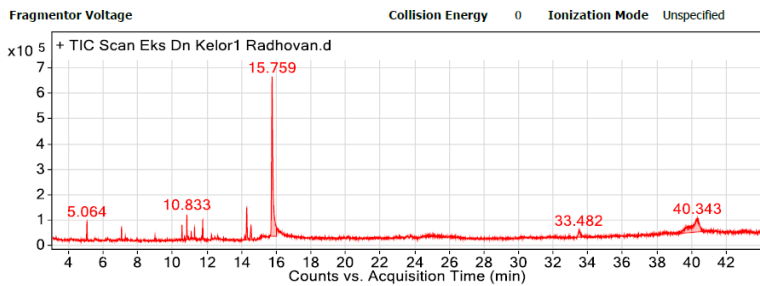
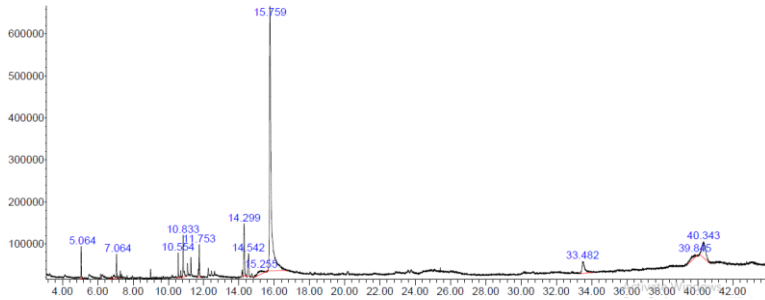


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.58	09.52
<i>OK</i>	03.62	10.02
<i>ClK</i>	01.06	01.32
<i>FeK</i>	92.74	79.14
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

Gambar H.3 SEM-EDX pada sampel dengan inhibitor



LAMPIRAN I HASIL UJI GC-MS



Gambar I.1 Kurva hasil uji GC-MS



BIOGRAFI PENULIS



Radhovan Zanata, lahir di Martapura pada tanggal 01 Januari 1997. Merupakan anak kedua dari pasangan Ibnuyahadi dan Eninawati. Penulis telah melalui Pendidikan di SDN 6 Martapura, SMPN 1 Martapura, SMAN 1 Martapura hingga saat ini masih menjalani kuliah di Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. Dalam riwayat Pendidikan penulis telah banyak menjalani organisasi seperti staff Public Relation SPE ITS SC 2016-2017, Staff Hubungan Luar

HMMT FTI-ITS 2016-2017, Staff Student Development NACE SC ITS 2016/2017 dan Chairman NACE SC ITS 2017-2018. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di Star Energy Geothermal Ltd. yang melakukan pembelajaran di bidang Korosi. Tugas Akhir ini sebagai kontribusi penulis dalam dunia riset dan penulis memilih topik Korosi (Inhibitor Organik). Alamat email ovanzanata1392@gmail.com dan nomor handphone 083175207797.