PENGARUH PENAMBAHAN INHIBITOR EKSTRAK KULIT KAKAO (Theobroma cacao) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L PADA MEDIUM NaCl 3% DAN HCl 3%

(Skripsi)

Oleh

LIYANA MARDOVA



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN INHIBITOR EKSTRAK KULIT KAKAO (THEOBROMA CACAO) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L PADA MEDIUM NaCl 3% DAN HCl 3%

Oleh

LIYANA MARDOVA

Telah dilakukan penelitian mengenai inhibisi korosi baja karbon rendah API 5L oleh ekstrak ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) dalam medium korosif NaCl dan HCl dengan konsentrasi masing-masing 3%. Pengujian dilakukan dengan metode penurunan berat. Laju korosi diuji pada baja karbon rendah dengan dan tanpa inhibitor ekstrak kulit kakao selama 7 hari dengan konsentrasi 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar konsentrasi inhibitor ekstrak ekstrak kulit kakao yang digunakan maka laju korosi akan semakin berkurang dan kemampuan menginhibisi korosi akan meningkat. Efisiensi korosi yang paling besar terjadi pada konsentrasi 1500 ppm baik untuk NaCl dan HCl dengan efisiensi masing-masing adalah 93,39% dan 73,6%. Hasil karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah Fe murni. Karakterisasi Secondary Electron Microscopy (SEM) memperlihatkan *cluster* (gumpulan) tidak merata dan ukuran lebih kecil, lubang (hole) dan retakan (crack) juga lebih sedikit dengan penambahan dibandingkan tanpa penambahan inhibitor ekstrak kulit kakao. Karakterisasi Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) pada sampel tanpa penambahan inhibitor didapatkan unsur Cl.

Kata kunci: Inhibitor korosi, baja karbon API 5L, HCl dan NaCl, ekstrak kulit kakao, XRD, SEM-EDS.

ABSTRACT

THE EFFECT ADDITION OF INHIBITORS COCOA PEEL EXTRACT TO CORROSION RATE ON CARBON STEEL API 5L IN NaCl 3% AND HCl 3%

By

LIYANA MARDOVA

The corrosion inhibition of low carbon API 5L by cocoa peel extract (Theobroma cacao) in corrosive medium of natrium cloride and hydrocloride acid of 3% has been investigated. The test was carried out byweight loss method. Corrosion rate was tested on low carbon steel with and without the tea leaves extract for 7 days with concentration of 0, 500, 1000, and 1500 ppm. The research result show that the more concentration of inhibitor cocoa peel extract, the lower corrosion rate so that capability of inhibition will increase. The biggest inhibition efficiency corrosion occured at concentrations of 1500 ppm in NaCl and HCl with efficiency of 93,39% and 73,6% respectively. The X-Ray Diffraction (XRD) result shows that the phase was Fe. Scanning Electron Microscopy (SEM) shows that the grain size and cluster is bigger, hole and crack also shows is lower of with inhibitor than without inhibitor. Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) shows that there is Cl element on sample without inhibitor.

Key words. corrosion inhibition, API 5L, HCl and NaCl, Theobroma cacao extract, XRD, SEM-EDS.

PENGARUH PENAMBAHAN INHIBITOR EKSTRAK KULIT KAKAO (Theobroma cacao) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API 5L PADA MEDIUM NaCl 3% DAN HCl 3%

Oleh

LIYANA MARDOVA

Skripsi

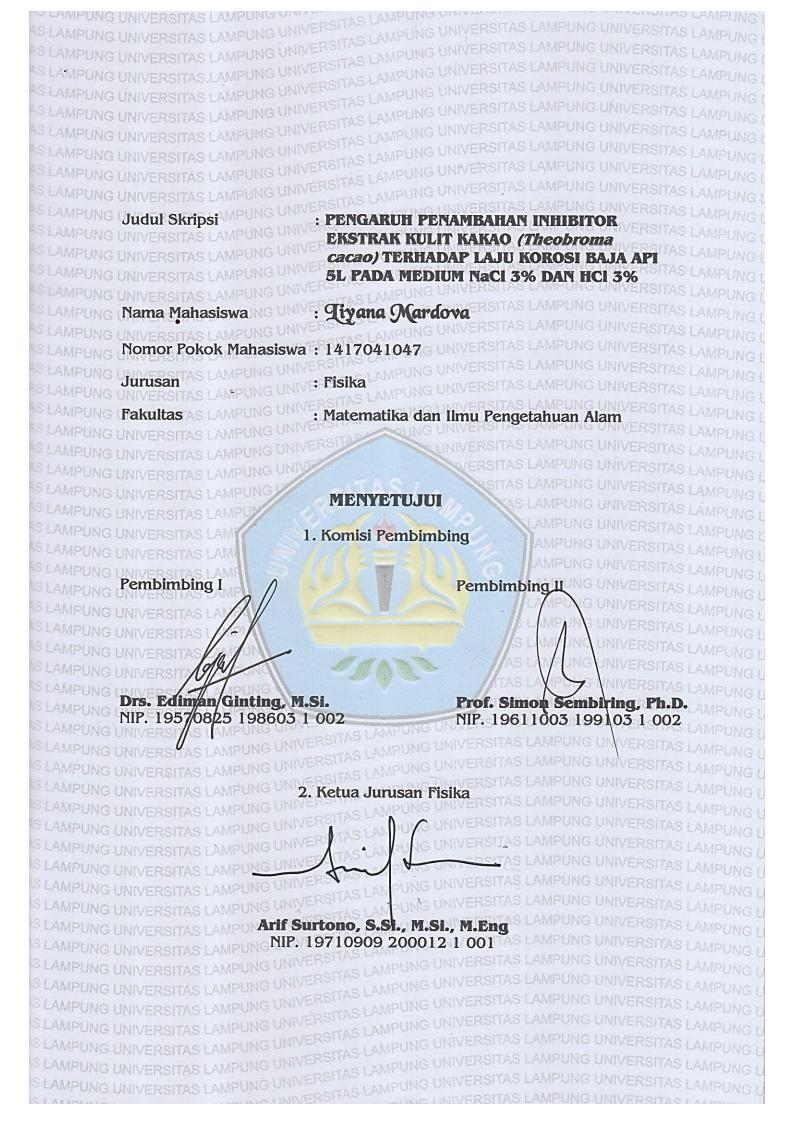
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar SARJANA SAINS

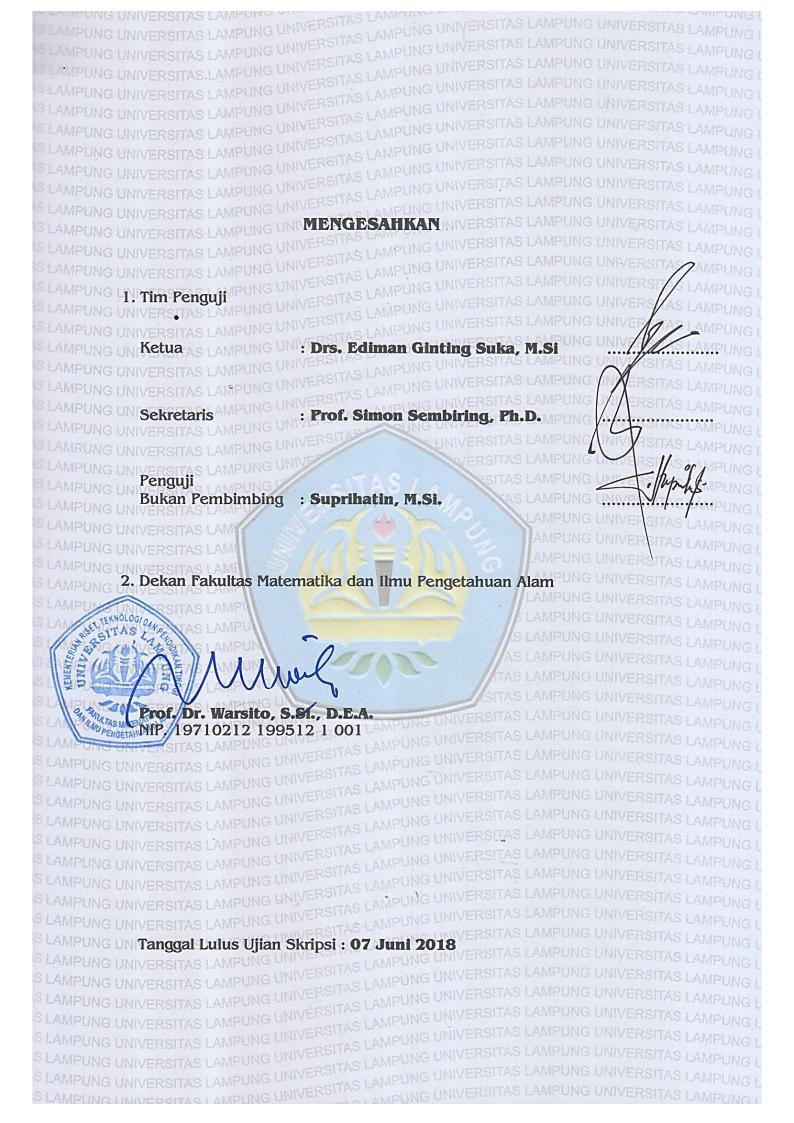
Pada

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR LAMPUNG 2018





PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 07 Juni 2018

Liyana Mardova NPM. 1417041047

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Belitang, desa Sukaraja Kecamatan Buay Madang Ogan Komering Ulu Timur Sumatera Selatan pada tanggal 09 September 1996. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Burhan dan Ibu Hasnidayati. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 1 Kurungan Nyawa tahun 2008, SMPN 1 Buay Madang pada tahun 2011, dan SMAN 1 Buay Madang tahun 2014.

Selanjutnya pada tahun 2014 penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di kegiatan kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Fisika sebagai anggota bidang KADERISASI dari tahun 2015-2016. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong dengan judul "Sintesis Superkonduktor Bi_{1,6}Pb_{0,4}Sr₂Ca₂Cu₃O_(10+x) untuk Peraga Uji Meissner menggunakan Metode Reaksi Padatan". Penulis juga pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar, Sains Dasar Fisika, dan Optika. Kemudian penulis melakukan penelitian berjudul "Pengaruh Penambahan Inhibitor Ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma Cacao*) terhadap Laju Korosi Baja API 5L pada Medium NaCl 3% dan HCl 3%" sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

MOTTO

"Education is not received, it is achieved"

"Memulai dengan penuh keyakinan, menjalankan dengan penuh keikhlasan, dan menyelesaikan dengan penuh kebahagian"

"Never stop learning because life never stop teaching"

"Tidak ada batasan dari perjuangan"

ALLAH SWT

KEDUA ORANG TUAKU, YANG SELALU
MENDO'AKANKU, MENGASIHIKU, MENDUKUNGKU,
MENYEMANGATIKU, DAN SEBAGAI MOTIVATOR
TERBESAR DALAM HIDUPKU

ADIK-ADIKKU SERTA KELUARGA BESAR YANG MENJADI PENYEMANGATKU

TEMAN SEPERJUANGANKU DAN ANGKATAN '14

ALMAMATER TERCINTA.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan

kesehatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang

berjudul "PENGARUH PENAMBAHAN INHIBITOR EKSTRAK KULIT

KAKAO (THEOBROMA CACAO) TERHADAP LAJU KOROSI BAJA API

5L PADA MEDIUM NaCl 3% DAN HCl 3%". Tujuan penulisan skripsi ini

adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar S1 dan melatih

mahasiswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis

menyadari masih banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis

mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, semoga skripsi ini

dapat bermanfaat bagi semua. Aamiin.

Bandar Lampung,

Mei 2018

Penulis,

Liyana Mardova

 \mathbf{X}

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas kuasa-Nya penulis masih diberikan kesempatan untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan skripsi ini, terutama kepada:

- Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si, sebagai Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang mendukung dari awal sampai akhir penulisan.
- 2. Prof. Simon Sembiring, Ph.D, sebagai Pembimbing II yang senantiasa sabar dalam mengoreksi skripsi dan memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai akhir penulisan.
- Ibu Suprihatin, M.Si, sebagai Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
- 4. Kedua orangtuaku Bapak Burhan dan Ibu Hasnidayati, Ayah Junaidi, Pak ajo Iwan, Pak minak Edi, serta adik-adikku Ferantika Sintauli, Icha Agustina, dan Ulan Triana Monica dan seluruh keluaga besarku yang luar biasa selalu menyemangatiku. Terimakasih untuk kehadirannya dalam hidupku yang senantiasa memberikan dukungan, do'a dan semangat yang luar biasa, serta kebersamaan sampai penulis menyelesaikan skripsi.

5. Bapak Pulung Karo Karo, M.Si, sebagai Pembimbing Akademik, yang telah

memberikan bimbingan serta nasehat dari awal perkuliahan sampai

menyelesaikan tugas akhir.

6. Bapak Arif Surtono, M.Si., M.Eng, selaku Ketua Jurusan dan para dosen serta

karyawan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan

Alam, Universitas Lampung.

7. Seseorang yang mengasihi dan yang 'ku kasihi, terimakasih atas dukungan,

doa, serta semangatnya.

8. Sahabat-sahabat ku tersayang Amilia Rasitiani, Adeliya Ayu Anggraini, Nola

Fricilia, Rizki Putri Surahman, Ismi Nurhayati, Ni'matil Mabarroh, Almh.

Keke Buana Tisanayu, Yuliyan Dwi Prabowo, dan teman-teman Fisika

angkatan 2014 yang selama ini memberikan semangat.

9. Kakak-kakak tingkat serta adik-adik tingkat dan semua teman-teman.

Semoga Allah SWT memberikan nikmat sehat kepada kita semua. Amin.

Bandar Lampung, Juni 2018

Penulis

Liyana Mardova

xii

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	V
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	X
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang B. Rumusan Masalah C. Tujuan Penelitian D. Batasan Masalah E. Manfaat Penelitian	

II.	TINJAUAN PUSTAKA	
	A. Korosi	6
	B. Mekanisme Terbentuknya Sel Korosi	12
	C. Faktor Penyebab Korosi	
	D. Laju Korosi	14
	E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi	
	F. Inhibitor Korosi	
	G. Tannin	18
	H. Kakao	19
	I. Ekstraksi	21
	J. Ekstrak Kulit Kakao sebagai Inhibitor	22
	K. Baja	
	L. Klasifikasi Baja	23
	M. XRD(X-Ray Diffraction)	27
	N. SEM (Scanning Electron Microscopy) yang Dilengkapi dengan	
	Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)	
	O. Metode Kehilangan Berat	31
III.	METODOLOGI PENELITIAN	
	A. Waktu dan Tempat Penelitian	32
	B. Alat dan Bahan	32
	C. Preparasi Bahan	33
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
	A. Perhitungan Laju Korosi	38
	B. Analisis XRD (X-Ray Diffraction)	
	C. Analisis SEM (Scanning Electron Microscopy) dan EDS (Ene	
	Dispersive Spectroscopy)	
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	
	A. Kesimpulan	63
	B. Saran	64
DAF	TAR PUSTAKA	
LAN	IPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Halam	an
Gambar 2.1. Syarat terjadinya korosi	8
Gambar 2.2. Korosi merata	9
Gambar 2.3. Korosi celah	9
Gambar 2.4. Korosi sumuran	10
Gambar 2.5. Korosi retak-regangan	10
Gambar 2.6. Korosi selektif	11
Gambar 2.7. Korosi erosi	11
Gambar 2.8. Korosi mikroba	12
Gambar 2.9. Penggetasan hydrogen	12
Gambar 2.10. Mekanisme korosi	13
Gambar 2.11. Struktur dasar tanin terkondensasi	19
Gambar 2.12. Struktur asam galat	19
Gambar 2.13. Bagian-bagian buah kakao	20
Gambar 2.14. Mekanisme proteksi	21
Gambar 2.15. Diagram sinar-X	27
Gambar 2.16. Difraksi sinar-X oleh bidang atom	28
Gambar 2.17. Skema SEM	29
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	33

Gambar 4.1. Hubungan laju korosi dengan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i>) pada medium NaCl dan HCl
Gambar 4.2. Hubungan efisiensi inhibitor dengan konsentrasi ekstrak kulit kakao (<i>Theobroma cacao</i>) pada medium NaCl dan HCl
Gambar 4.3. Difragtogram sampel pada medium NaCl dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 1500 ppm
Gambar 4.4. Difragtogram sampel pada medium HCl dengan konsentrasi inhibitor 0 ppm dan 1500 ppm
Gambar 4.5. Hasil SEM baja karbon API 5L pada medium NaCl dengan inhibitor 0 ppm (a) perbesaran 1000x (b) perbesaran 3000x (c) perbesaran 5000x dan dengan inhibitor 1500 ppm (d) perbesaran 1000x (e) perbesaran 3000x (f) perbesaran 5000x
Gambar 4.6. Hasil SEM baja karbon API 5L pada medium NaCl dengan inhibitor 0 ppm (a) perbesaran 1000x (b) perbesaran 3000x (c) perbesaran 5000x dan dengan inhibitor 1500 ppm (d) perbesaran 1000x (e) perbesaran 3000x (f) perbesaran 5000x
Gambar 4.7. Grafik hasil analisis EDS sampel baja raw API 5L
Gambar 4.8. EDS sampel dengan inhibitor 0 ppm pada medium NaCl dengan perbesaran 1000x
Gambar 4.9. EDS sampel dengan inhibitor 1500 ppm pada medium NaCl dengan perbesaran 1000x
Gambar 4.10. Perbandingan unsur baja karbon API 5L pada medium NaCl dengan inhibitor 0 ppm dan 1500 ppm
Gambar 4.11. EDS sampel dengan inhibitor 0 ppm pada medium HCl dengan perbesaran 1000x
Gambar 4.12. EDS sampel dengan inhibitor 1500 ppm pada medium HCl dengan perbesaran 1000x
Gambar 4.13. Perbandingan unsur baja karbon API 5L pada medium HCl dengan inhibitor 0 ppm dan 1500 ppm

DAFTAR TABEL

	Halan	nan
Tabel 2.1. Kl	lasifikasi baja karbon	25
Tabel 2.2. Ko	omposisi kimia untuk baja API 5L	26
Tabel 3.1. Ko	onstanta laju korosi pada baja karbon	37
	erbandingan hasil penelitian dengan inhibitor 0 ppm pada med aCl dengan data PCPDFWIN	
	rbandingan hasil penelitian dengan inhibitor 1500 ppm pada med aCl dengan data PCPDFWIN	
	erbandingan hasil penelitian dengan inhibitor 0 ppm pada med Cl dengan data PCPDFWIN	
	rbandingan hasil penelitian dengan inhibitor 1500 ppm pada med Cl dengan data PCPDFWIN	
Tabel 4.5. Un	nsur dan senyawa baja raw API 5L dengan EDS	53

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kata korosi berasal dari bahasa latin yaitu *corrodere* yang artinya perusakan logam atau berkarat (Supardi, 1997). Korosi pada logam sangat dipengaruhi oleh lingkungan yang mengandung gas limbah (sulfur dioksida, sulfat, hidrogen sulfida, klorida), kandungan O, pH larutan, temperatur, kelembaban, kecepatan alir, dan aktifitas mikroba (Asdim, 2007). Korosi merupakan masalah besar bagi bangunan dan peralatan yang menggunakan material dasar logam seperti gedung, jembatan, mesin, pipa, mobil, kapal, dan lain sebagainya (Rieger, 1992).

Kerusakan yang ditimbulkan akibat korosi juga akan sangat besar pengaruhnya terhadap kehidupan manusia. Dari segi ekonomi akan mengakibatkan tingginya biaya perawatan, dari segi keamanan akan menyebabkan robohnya bangunan atau jembatan, dan dari segi lingkungan akan menimbulkan adanya proses pengkaratan besi yang berasal dari berbagai konstruksi sehingga dapat mencemarkan lingkungan (Trethewey and Chamberlain, 1991).

Korosi tidak dapat dicegah tetapi lajunya dapat dikurangi. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi laju korosi, salah satunya dengan pemakaian inhibitor. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling

efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Hermawan, 2007). Zat inhibitor adalah suatu senyawa kimia yang secara sengaja ditambahkan dengan jumlah kecil ke dalam media, yang berguna untuk memperlambat terjadinya korosi (Adriana, 2010).

Inhibitor dapat dibedakan menjadi inhibitor organik dan inhibitor anorganik (Aidil,1972). Penggunaan inhibitor dari senyawa anorganik seperti nitrit (NO₂), kromat (CrO₄), fosfat (PO₄) telah banyak digunakan. Tetapi penggunaan inhibitor tersebut tidak ramah lingkungan, karena dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan yang digunakan sebagai inhibitor, seperti pencemaran pada air laut jika inhibitor digunakan pada baja perkapalan seperti baja API 5L (Ameer dkk, 2000), sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan inhibitor korosi yang ramah lingkungan.

Inhibitor organik adalah inhibitor yang berasal dari bagian tumbuhan yang mengandung tannin, karena merupakan zat kimia mengandung atom N, O, P, S dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas yang dapat berfungsi sebagai ligan yang akan membentuk senyawa kompleks dengan logam (Ilim dan Hermawan, 2008). Tanin merupakan zat kimia yang terdapat pada daun, akar, kulit, buah, dan batang tumbuhan (Haryati, 2008). Salah satu bahan alam yang mengandung senyawa tanin adalah kulit buah kakao (Muliati, 2009).

Pada penelitian sebelumnya oleh Hermawan, dkk (2012), telah digunakan kulit buah kakao untuk mengurangi laju korosi. Medium yang digunakan adalah air laut, air hujan, dan asam sulfat 1 M dengan lama perendaman 120 jam, sedangkan

variasi konsentrasi yang diberikan adalah 600, 800, dan 1000 ppm. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi inhibisi tertinggi terjadi pada medium korosif air hujan dengan konsentrasi inhibitor 600 ppm yaitu sebesar 93,06%.

Penelitian selanjutnya oleh Purnomo (2015), telah digunakan ekstrak kulit buah kakao dengan variasi konsentrasi pada 0 ppm, 500 ppm, 100 ppm, 1500 ppm, dan 2000 ppm dengan perendaman selama 40 hari untuk pengengendalian laju korosi pipa baja karbon A53 pada medium air laut. Konsentrasi inhibitor yang maksimal untuk menghambat laju korosi adalah pada konsentrasi ekstrak kulit buah kakao 2000 ppm yaitu sebesar 83,37%.

Pada penelitian kali ini, baja yang digunakan adalah baja karbon rendah yang dipakai pada industri penghasil minyak bumi dan gas yaitu baja karbon API 5L. Baja karbon API 5L direndam dalam medium korosi NaCl 3% dan HCl 3% dengan konsentrasi inhibitor ekstrak kulit buah kakao yang digunakan sebesar 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm dengan lama perendaman selama 168 jam. Sampel baja hasil korosi dikarakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk melihat fasa pada baja, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk melihat struktur mikro, dan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk melihat produkproduk korosi yang terjadi dan menentukan laju korosi menggunakan metode kehilangan berat.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- Apakah ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) efisien dalam menghambat korosi pada baja karbon API 5L?
- 2. Bagaimana struktur mikro, fasa, dan produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja karbon API 5L setelah direndam dalam larutan NaCl 3% dan HCl 3%?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui efisiensi dari ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) pada baja karbon API 5L dengan perlakuan yang diberikan.
- Mengetahui struktur mikro, fasa, dan produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja setelah direndam dalam medium korosif dengan penambahan inhibitor.

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

- 1. Sampel yang digunakan adalah baja karbon API 5L.
- 2. Medium korosif yang digunakan adalah NaCl dan HCl dengan konsentrasi 3%.
- 3. Perendaman baja pada medium korosif menggunakan inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) dengan konsentrasi inhibitor yang digunakan sebesar 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm dan lama perendaman selama 168 jam.

- 4. Laju korosi dihitung dengan metode kehilangan berat.
- 5. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan XRD (X-Ray Diffraction), SEM (Scanning Electron Microscopy), dan EDS (Energi Dispersive Spectroscopy).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil penelitian ini yaitu:

- Memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi larutan inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) pada baja karbon API 5L pada medium korosif NaCl 3% dan HCl 3%.
- Memberi tambahan referensi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, terutama di Jurusan Fisika

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi

Korosi adalah salah satu proses perusakan material khususnya logam karena adanya suatu reaksi antara logam tersebut dengan lingkungan (Yanuar dkk, 2016). Hasil dari reaksi korosi ini, suatu material atau logam akan mengalami perubahan (baik berupa fisik maupun kimia) sifatnya ke arah yang lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Kondisi lingkungan yang sering menyebabkan terjadinya korosi pada logam adalah udara dan air (Fontana dan Greene, 1986).

Fenomena korosi merupakan reaksi kimia yang dihasilkan dari dua reaksi setengah sel yang melibatkan elektron sehingga menghasilkan suatu reaksi elektrokimia (Jones, 1992). Dari dua reaksi setengah sel ini terdapat reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Proses korosi hanya akan terjadi jika ada tiga komponen utama dalam sel korosi, yaitu:

a. Logam

Di dalam logam atau bahan itu sendiri terdapat dua komponen penting dalam penentuan terjadinya reaksi korosi, yaitu:

1. Anoda

Anoda adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$^{n+} + ne^{-}$$
 (2.1)

2. Katoda

Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 .

1). Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral

evolusi hidrogen / larutan asam :
$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$$
 (2.2)

reduksi air / larutan netral / basa :
$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$$
 (2.3)

2). Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral

reduksi oksigen / asam:
$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$$
 (2.4)

reduksi oksigen / netral atau basa:
$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \longrightarrow 4OH^-$$
 (2.5)

3). Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif

$$M^{3+} + e^{-} M^{2}$$
 (2.6)

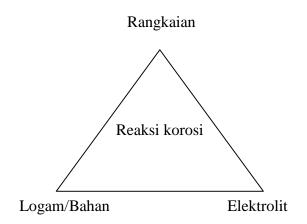
b. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi, serta melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat

elektrolit menghantarkan arus listrik. Elektrolit ini sendiri terdapat pada lingkungan dari suatu rangkaian elektrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, asam mineral, tanah, dan minyak.

c. Rangkaian listrik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda. Gambar 2.1 menunjukkan syarat terjadinya korosi.



Gambar 2.1. Syarat terjadinya korosi (Jones, 1992).

Berdasarkan bentuk kerusakan yang dihasilkan, penyebab korosi, lingkungan tempat terjadinya korosi, maupun jenis material yang diserang, korosi terbagi menjadi beberapa macam (Jones, 1992), diantaranya adalah:

a. Korosi merata (uniform corrosion)

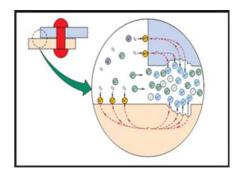
Korosi merata yaitu korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat pengikisan permukaan logam secara merata sehingga ketebalan logam berkurang sebagai akibat permukaan terkonversi oleh produk karat yang biasanya terjadi pada peralatan-peralatan terbuka, misalnya permukaan pipa. Gambar 2.2 menunjukan korosi merata.



Gambar 2.2. Korosi merata.

b. Korosi celah (crevice corrosion)

Korosi celah yaitu korosi yang terjadi pada permukaan logam secara local. Biasanya terjadi pada logam pasif akibat dari kerusakan lapisan oksida pelindung dari logam. Korosi terjadi akibat dari adanya konsentrasi senyawa korosif pada bagian permukaan logam. Untuk kasus ini, konsentrasi terjadi akibat dari adanya celah yang sangat kecil antara dua permukaan logam. Gambar 2.3 menunjukkan korosi celah.

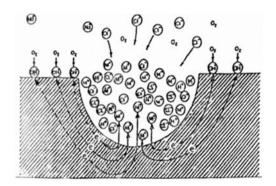


Gambar 2.3. Korosi celah.

c. Korosi sumuran (pitting corrosion)

Korosi sumuran yaitu korosi terbentuk lubang-lubang pada permukaan logam karena hancurnya film dari proteksi logam disebabkan oleh laju

korosi yang berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya pada permukaan logam tersebut. Kerusakan dimulai akibat komposisi tidak homogen. Gambar 2.4 menunjukkan korosi sumuran.



Gambar 2.4. Korosi sumuran.

d. Korosi retak-tegangan (stress corrosion cracking)

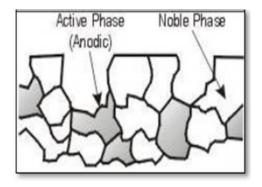
Korosi retak-tegangan yaitu korosi yang berbentuk retakan-retakan yang tidak mudah dilihat, terbentuk dipermukaan logam dan berusaha merembet ke dalam. Ini terjadi pada logam-logam yang banyak mendapatkan tekanan. Hal ini disebabkan kombinasi dari tegangan tarik dan lingkungan yang bersifat korosif sehingga struktur logam melemah. Gambar 2.5 menunjukkan korosi retak-tegangan.



Gambar 2.5. Korosi retak-tegangan.

e. Korosi selektif (selective corrosion)

Korosi selektif yaitu terjadi akibat terlarutnya suatu unsur yang bersifat lebih anodik dari suatu paduan, misalnya dezinfication yang melepaskan Zn dari paduan tembaga. Gambar 2.6 menunjukkan korosi selektif.



Gambar 2.6. Korosi selektif.

f. Korosi erosi (erosion corrosion)

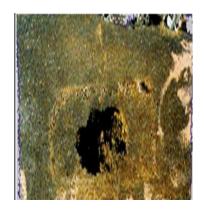
Korosi erosi yaitu terjadinya aliran fluida yang cepat dan bersifat korosif pada permukaan logam. Gambar 2.7 menunjukkan korosi erosi.



Gambar 2.7. Korosi erosi.

g. Korosi mikroba (microbiological corrosion)

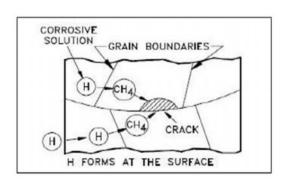
Korosi mikroba yaitu korosi yang terjadi diakibatkan oleh adanya mikroba atau bakteri (*microbially-induced corrosion*/MIC). Gambar 2.8 menunjukkan korosi mikroba.



Gambar 2.8. Korosi Mikroba.

h. Penggetasan hidrogen (hydrogen embrittlement)

Penggetasan hidrogen yaitu terjadinya peristiwa dimana atom hidrogen memasuki suatu baja atau alloy tertentu. Gambar 2.9 menunjukkan penggetasan hidrogen.

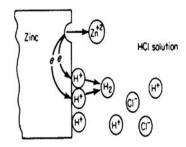


Gambar 2.9. Penggetasan hydrogen.

B. Mekanisme Terbentuknya Sel Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂, akibat ion H⁺ dan H₂O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi di permukaan logam yang akan menyebabkan

pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang. Gambar 2.10 menunjukkan mekanisme korosi.



Gambar 2.10. Mekanisme Korosi (Nurdin dkk, 1998).

C. Faktor Penyebab Korosi

Menurut Trethewey dan Chamberlin (1991), ada beberapa faktor penyebab terjadinya korosi antara lain adalah udara, air, tanah dan zat-zat kimia.

a. Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan bumi dan komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konsisten. Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab sehingga kemungkinan terjadi korosi lebih besar.

b. Air

Air dapat dibedakan atas air laut dan air tawar. Air laut merupakan larutan yang mengandung berbagai macam unsur yang bersifat korosif. Jumlah garam dapat dinyatakan dengan salinitas, yaitu jumlah bahan-bahan padat yang terlarut dalam satu kilogram air laut. Karena banyaknya bahan-bahan padat yang terdapat dalam air laut maka akan mempengaruhi laju korosi suatu bahan logam.

c. Tanah

Di dalam tanah, korosi terjadi pada pipa, kabel, dan pada pondasi logam yang terendam di dalamnya. Tiang baja yang dikubur jauh di dalam tanah yang sudah lama tidak digali akan terkena korosi karena kurangnya oksigen dalam tanah. Pada pemasangan pipa di dalam tanah, tanah yang digali dan kemudian ditutup lagi memungkinkan adanya oksigen terkurung di dalam tanah, sehingga dapat menyebabkan korosi. Korosi elektrokimia dapat terjadi dalam tanah akibat adanya arus listrik yang disebabkan oleh kebocoran arus listrik dari kabel jalan rel kereta api atau sumber-sumber lain. Tanah harus dianalisis terlebih dahulu sebelum logam-logam dimasukkan ke dalamnya, karena tanah dapat mengandung berbagai macam zat kimia dan mineral yang korosif. Setelah dianalisis, kita dapat menentukan usaha perlindungan yang tepat terhadap logam-logam tersebut dari serangan korosi di dalam tanah.

d. Zat-zat kimia

Zat kimia yang dapat menyebabkan korosi antara lain asam, basa dan garam, baik dalam bentuk cair, padat maupun gas. Pada umumnya, korosi oleh zat kimia pada suatu material dapat terjadi bila material mengalami kontak langsung dengan zat kimia tersebut (Trethewey dan Chamberlin, 1991).

D. Laju Korosi

Laju korosi didefinisikan sebagai banyaknya logam yang dilepas tiap satuan waktu pada permukaan tertentu. Laju korosi umumnya dinyatakan dengan satuan *mils per year* (mpy). Satu *mils* adalah setara dengan 0,001 inchi. Laju korosi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \tag{2.7}$$

dimana: CR: Laju Korosi (mm/tahun)

K: Konstanta Laju Korosi

W: Selisih Massa (gram)

T: Waktu Perendaman (jam)

A: Luas Permukaan (cm²)

: Massa Jenis (gram/cm³)

(Fontana dan Greene, 1986).

E. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu:

a. Jenis logam dan struktur mikroskopis logam

 Semakin inert suatu logam, maka semakin tahan logam tersebut terhadap korosi.

2. Tidak homogennya susunan dari logam, maka akan menimbulkan sel korosi pada logam itu sendiri.

b. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit

Larutan elektrolit adalah air yang mengandung anion dan kation (Piere R, 2008). Beberapa faktor yang mempengaruhi korosifitas suatu larutan antara lain:

1. Konduktivitas

Naiknya konduktivitas suatu larutan, maka daya hantar listrik larutan tersebut akan semakin baik, akibatnya laju korosi lebih cepat terjadi.

Adanya ion klorida (Cl⁻) dalam elektrolit akan meningkatkan konduktivitas larutan tersebut, sehingga aliran arus korosi akan lebih meningkat.

2. pH

Kenaikan laju korosi pada logam besi terjadi pada pH di bawah 4 dan diatas 12, hal ini disebabkan karena lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk.

3. Gas terlarut

Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi). Laju korosi dipengaruhi oleh bermacammacam kondisi fisik yang terdapat dalam suatu sistem, seperti:

a. Temperatur

Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi laju korosi. Pada sistem tertutup laju korosi akan terus bertambah, sedangkan pada sistem terbuka kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan kelarutan gas O_2 , dan akan menurunkan laju korosi pada titik tertentu.

b. Tekanan

Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan gas terlarut, dengan konsekuensi akan menaikan laju korosi pada sistem.

c. Kecepatan alir fluida

Adanya kecepatan alir fluida yang berbeda-beda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi.

F. Inhibitor Korosi

Suatu inhibitor kimia adalah suatu zat kimia yang dapat menghambat atau memperlambat suatu reaksi kimia. Bekerja secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu akan dapat menurunkan laju korosi dari logam akibat lingkungan sekitar. Penambahan inhibitor dilakukan dengan jumlah yang sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu dan laju korosi akan menurun secara drastis atau memberikan efek yang cepat dan baik. Adapun mekanisme kerja inhibitor sebagai berikut (Dalimuthe, 2004):

- a. Inhibitor teradsorpsi pada permukaan logam, dan membentuk suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa molekul inhibitor. Lapisan ini tidak dapat dilihat oleh mata biasa, namun dapat menghambat penyerangan lingkungan terhadap logamnya.
- b. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsorpsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Endapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.
- c. Inhibitor lebih dulu mengkorosi logamnya, dan menghasilkan suatu zat kimia yang kemudian melalui peristiwa adsorpsi dari produk korosi tersebut membentuk suatu lapisan pasif pada permukaan logam.
- d. Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya.

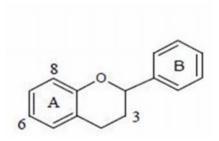
G. Tanin

Tanin merupakan zat organik yang sangat kompleks dan terdiri dari senyawa fenolik. Tanin tergolong senyawa polifenol dengan karakteristiknya yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan makromolekul lainnya. Pada tumbuhtumbuhan, senyawa tanin terdapat pada kulit kayu, batang, daun, dan buah. Tanin dibagi menjadi dua kelompok yaitu tannin mudah terhidrolisis dan tanin terkondensasi. Tanin yang mudah terhidrolisis merupakan polimer gallic atau ellagic acid yang berikatan ester dengan sebuah molekul gula, sedangkan tanin terkondensasi merupakan polimer senyawa flavonoid dengan ikatan karbon-karbon (Harbone, 1984).

Tanin dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Tanin Terkondensasi

Tanin terkondensasi atau proantosianidin merupakan polimer flavonoid. Proantosianidin didasarkan pada sistem cinci heterosiklik yang diperoleh dari fenilalanin (B) dan biosintesis poliketida (A). Proantosianidin adalah senyawa yang menghasilkan pigmen antosianidin melalui pemecahan secara oksidatif dalam alkohol panas. Kebanyakan proantosianidim adalah prosianidin, jika direaksikan dengan asam akan menghasilkan sianidin (Hagerman, 2002). Struktur dadar tanin ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Struktur dasar tanin terkomdensasi (Hagerman, 2002)

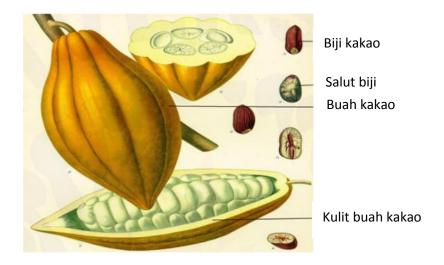
2. Tanin Terhidrolisis

Tanin terhidrolisis merupakan turunan dari asam galat (asam 3,4,5-trihidroksil benxoat). Senyawa ini mengandung ikatan ester antara suatu monosakarida terutama gugus hidroksilmya.Struktur asam galat ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Gambar 2.12. Struktur asam galat (Hagerman, 2002)

H. Kakao

Kakao (*Theobroma cacao*) merupakan tumbuhan berwujud pohon yang berasal dari Amerika Selatan. Dari biji tumbuhan ini dihasilkan produk olahan yang dikenal sebagai cokelat.



Gambar 2.13. Bagian-bagian buah kakao.

Menurut Figuera *et al* (1993), kulit buah kakao mengandung campuran flavonoid atau tanin terkondensasi atau terpolimerisasi, seperti antosianidin, katekin, leukoantosianidin yang kadang-kadang terikat dengan glukosa. Unsur-unsur yang terdapat pada kulit kakao ini adalah N, P₂O₅, K₂O, MgO, CaO.

Mekanisme proteksi ekstrak kulit kakao terhadap besi/baja dari serangan korosi diperkirakan hampir sama dengan mekanisme proteksi oleh inhibitor organik. Reaksi yang terjadi antara logam Fe dengan medium korosif yang mengandung ion-ion klorida diperkirakan menghasilkan FeCl₂. Jika ion klorida yang bereaksi semakin besar, maka FeCl₂ yang terbentuk juga akan semakin besar. Dengan inhibitor ekstrak bahan alam menghasilkan senyawa kompleks. Inhibitor ekstrak bahan alam yang mengandung nitrogen mendonorkan sepasang elektronnya pada permukaan logam *mild steel* ketika ion Fe²⁺ terdifusi ke dalam larutan elektrolit, reaksinya adalah:

Gambar 2.14. Mekanisme proteksi

Produk yang terbentuk di atas mempunyai kestabilan yang tinggi dibanding dengan Fe saja, sehingga sampel besi/baja yang diberikan inhibitor ekstrak bahan alam akan lebih tahan (terproteksi) terhadap korosi.

I. Ekstraksi

Alur awal untuk mendapatkan senyawa aktif dari suatu tumbuhan adalah proses ekstraksi. Ekstraksi adalah proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda. Prinsip ekstraksi adalah melarutkan senyawa polar dalam pelarut polar dan senyawa non polar dalam senyawa non polar. Secara umum ekstraksi dilakukan secara berturut-turut mulai dengan pelarut non polar (n-heksan) lalu pelarut yang kepolarannya menengah (diklor metan atau etil asetat) kemudian pelarut yang bersifat polar (metanol atau etanol).

Ekstraksi digolongkan ke dalam dua bagian besar berdasarkan bentuk fasa yang diekstraksi yaitu ekstraksi cair-cair dan ekstraksi cair-padat. Untuk ekstraksi cair-cair dapat menggunakan corong pisah, sedangkan ekstraksi cair-padat terdiri dari beberapa cara yaitu maserasi, perkolasi dan sokletasi (Harborne, 1984).

Maserasi merupakan proses ekstraksi dengan cara perendaman menggunakan pelarut organik pada suhu ruang. Proses ini sangat menguntungkan dalam proses isolasi senyawa organik bahan alam karena dengan perendaman sampel akan terjadi pemecahan dinding dan membran sel akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel, sehingga metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma akan terlarut dalam pelarut organik serta struktur senyawa tidak akan mudah rusak (Harborne, 1984).

J. Ekstrak Kulit Buah Kakao sebagai Inhibitor

Menurut Sri Hermawan, Yuli Rizky Ananda Nasution, Rosdanelli Hasibuan (2012), penggunaan ekstrak kulit buah kakao dapat menghambat laju reaksi korosi pada baja, sehingga dapat dijadikan sebagai inhibitor alami dalam reaksi korosi. Laju korosi menurun dengan bertambahnya konsentrasi inhibitor (ekstrak kulit buah kakao).

K. Baja

Baja adalah salah satu logam ferro yang banyak digunakan dalam dunia teknik dan industri. Kandungan baja yang utama diantaranya yaitu besi dan karbon. Kandungan besi (Fe) pada baja sekitar 97% dan karbon (C) sekitar 0,2% hingga 2,1% sesuai *grade*-nya. Selain unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja mengandung unsur lain seperti mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1,65%, silikon (Si) dengan kadar maksimal 0,6%, tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0,6%, sulfur (S), fosfor (P) dan lainnya dengan jumlah yang dibatasi dan berbeda-beda (Wulandari, 2011).

Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras dengan mencegah dislokasi pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan dari peralatan dapur, transportasi, generator, sampai kerangka gedung dan jembatan. Kandungan karbon dan unsur paduan lainnya yang divariasikan berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*) namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*) (Ashby dkk, 1992).

L. Klasifikasi Baja

Menurut ASM Handbook (1993), baja dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya seperti kadar karbon dari paduan yang digunakan. Berikut ini klasifikasi baja berdasarkan komposisi kimianya:

a. Baja Karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon. Oleh karena itu, pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Perbedaan persentase kandungan karbon dalam campuran logam baja menjadi salah satu pengklasifikasian baja. Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi ke dalam tiga macam, yaitu:

1. Baja karbon rendah (Low Carbon Steel)

Baja karbon rendah adalah baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling murah biaya produksi diantara baja karbon lainnya, mudah dilas, serta keuletan dan

ketangguhannya sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar dan lain-lain.

2. Baja karbon sedang (Medium Carbon Steel)

Baja karbon sedang adalah baja yang mengandung karbon dengan persentase sebesar 0,3%-0,6%. Baja karbon sedang memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya lebih tinggi dari pada baja karbon rendah, kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin, lebih sulit dilakukan pengelasan dan dapat dikeraskan dengan *quenching*. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

3. Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang mengandung karbon sebesar 0,6%-1,7% dan memiliki tahan panas yang tinggi, kekerasan tinggi, tetapi keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material perkakas (*tools*). Salah satu aplikasi dari baja tersebut adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung di dalam baja maka karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu, baja jenis ini banyak

digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lainnya (ASM Handbook, 1993).

Klasifikasi baja dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1.Klasifikasi baja karbon (Linnert, 1994).

Kandungan	Karbon	Nama	Aplikasi		
(%)					
0,15		Low carbon steel	Baja strip, badan mobil,		
			dan kawat las		
0,15-0,30		Mild steel	Konstruksi bangunan		
0,35-0,60		Medium carbon steel	Bagian mesin, roda		
			gigi, dan pegas		
0,60-1.00		High carbon steel	Rel kereta api		

Sumber: Welding Metallurgy, 1994.

b. Baja Paduan (Alloy Steel)

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, mangan, molibdenum, kromium, vanadium dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki, seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletannya. Paduan dari beberapa unsur yang berbeda memberikan sifat khas dari baja. Misalnya baja yang dipadu dengan nikel, mangan dan krom akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras dan ulet. Berdasarkan paduannya baja paduan dibagi menjadi tiga macam yaitu: mesin, lebih sulit dilakukan pengelasan dan dapat dikeraskan dengan *quenching* (pendinginan cepat) Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi dan lain-lain.

1. Baja paduan rendah (*Low Alloy Steel*)

Low alloy steel merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 2,5%), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi

daripada baja karbon dengan kadar karbon yang sama atau mempunyai keuletan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Baja jenis ini biasanya digunakan untuk perkakas seperti pahat kayu, poros dan gergaji.

2. Baja paduan menengah (Medium Alloy Steel)

Baja paduan menengah merupakan baja dengan paduan elemen 2,5%-10%. Unsur-unsur yang terdapat pada baja jenis ini diantaranya Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

3. Baja paduan tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan lebih dari 10%. Unsur unsur yang terdapat pada baja jenis ini diantaranya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, dan P (Mulyanti, 1996).

Baja API 5L adalah baja yang digunakan untuk perpipaan dan diproduksi berdasarkan standar API (*American Petroleum Institute*). Komposisi kimia untuk baja API 5L dapat dilihat pada Tabel 2.2

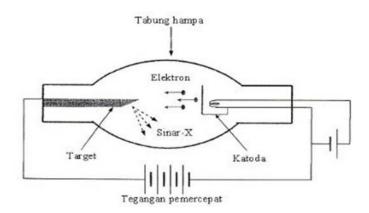
Tabel 2.2. Komposisi kimia untuk baja API 5L

No	Unsur	Komposisi (%)
1	Karbon (C)	0,3
2	Mangan (Mn)	1,20
3	Silikon (Si)	0,40
4	Fosfor (P)	0,025
5	Sulfur (S)	0,015
6	Cuprum (Cu)	0,01
7	Nikel (Ni)	0,01
8	Molibden (Mo)	0,005
9	Krom (Cr)	0,02
10	Vanadium (V)	0,06
11	Titanium (Ti)	0,004
12	Niobium + Vanadium (Nb+V)	0,06

Sumber: SEAPI Laboratory, 2015.

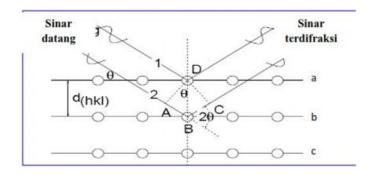
M. XRD (X-Ray Diffraction)

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda = 0.1$ mm) yang lebih pendek dibanding gelombang cahaya ($\lambda = 400-800$ nm) (Smallman, 2000). Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan. Gambar 2.14 menunjukkan diagram sinar-X.



Gambar 2.15. Diagram sinar-X (Athur Beiser, 1992).

Metode difraksi sinar-X (X-Ray Diffraction, XRD) memegang peran yang sangat penting untuk analisis padat kristalin, yaitu untuk meneliti ciri utama struktur (parameter kisi dan tipe struktur), dan untuk mengetahui rincian lain misalnya susunan berbagai jenis atom dalam kristal, keberadaan cacat, ukuran butiran, orientasi, ukuran dan kerapatam-presipitat. Oleh karena pola difraksi untuk tiap unsur pada Gambar 2.15 adalah spesifik, maka metode ini sangat akurat untuk menentukan komposisi unsur dan senyawa yang terkandung dalam suatu sampel, karena pola yang terbentuk seperti gingerprint dari suatu materi.

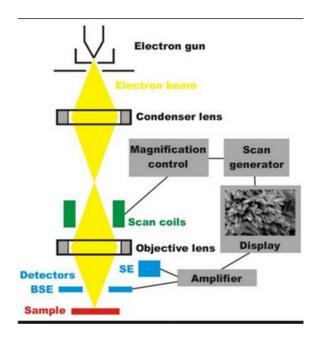


Gambar 2.16. Difraksi sinar-X oleh bidang atom.

Bila seberkas sinar-X dengan panjang gelombang λ diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraksi sinar-X (Cullity, 1978).

N. SEM (Scanning Electron Microscopy) yang dilengkapi dengan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM banyak digunakan karena memiliki kombinasi yang unik, mulai dari persiapan spesimen yang simpel dan mudah, kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel. SEM digunakan pada sampel yang tebal dan memungkinkan untuk analisis permukaan. Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksikan. Adanya elektron yang terdifraksikan dapat diamati dalam bentuk pola-pola difraksi. Pola-pola difraksi yang tampak sangat bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel. SEM juga dapat digunakan untuk menyimpulkan data-data kristalografi, sehingga hal ini dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.



Gambar 2.17. Skema SEM (Reed, 1993).

Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 2.17. Dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan *strike* yang lain adalah CRT (*Cathode Ray Tube*) memberi tampilan yang dapat dilihat oleh operator. Akibat tumbukan pada spesimen dihasilkan satu jenis elektron dan emisi foton. Sinyal yang terpilih dikoleksi, dideteksi dan dikuatkan untuk memodulasi tingkat keterangan dari sinar elektron yang kedua, maka sejumlah besar sinar akan menghasilkan bintik gelap. SEM menggunakan prinsip *scanning*, maksudnya berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan *scanning*.

Komponen utama SEM terdiri dari dua unit, yaitu electron colomn dan display consule. Electron colomn merupakan model electron beam scanning, sedangkan display consule merupakan elektron sekunder yang di dalamnya terdapat CRT.

Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus. Yang pertama pistol termionik di mana pancaran elektron tercapai dengan pemanasan tungsten atau filamen katoda pada suhu 1500 K sampai 3000 K. Katoda adalah kutub negatif yang dibutuhkan untuk mempercepat tegangan Eo kali elektron volt (KeV). Pistol termionik sangat luas penggunaanya karena relatif aman untuk digunakan dalam tabung vakum 10⁻⁹ Torr, atau lebih kecil dari itu.

Sumber alternatif lain dari pistol *field emission* di mana ujung kawat wolfram yang tajam dihubungkan tertutup dengan anoda ekstraksi dan diterapkan potensional sampai beberapa ribu volt. Elektron yang keluar dari kawan wolfram tidak membutuhkan pemanasan yang dapat dilakukan pada suhu kamar, menuju tabung vakum yang dipercepat seperti pada pistol termionik ke arah anoda. Pistol *field emission* tergantung dari permukaan emitter yang secara otomatis bersih, sehingga harus bekerja pada operasi kevakuman yang ultra tinggi kira-kira 10⁻⁹ Torr, namun jika lebih besar maka akan lebih baik. Jarak panjang emitter *electron column*. Pemancaran elektron dari elektron column pada *chamber* harus dipompa dukup vakum menggunakan *oil-difussion*, *turbo molecular*, atau pompa ion.

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) yang dapat menentukan unsur dan analisis komposisi kimia. Bila suatu berkas elektron ditembakkan atau dikenai pada sampel akan terjadi interaksi berupa elektron yang keluar dari atomnya, maka elektron tersebut mempunyai tingkat energi lebih rendah dari yang lain. Hal ini menyebabkan atom menjadi kurang stabil, sedangkan suatu atom mempunyai kecenderungan ingin

menjadi stabil. Oleh karena itu, elektron yang mempunyai tingkat energi yang lebih tinggi akan turun (transisi) ke tingkat yang lebih rendah.

Kelebihan energi yang dilepas pada waktu transisi adalah dalam bentuk sinar-X. Karena beda tingkat energi untuk suatu atom tertentu, sehingga sinar-X yang dihasilkan oleh suatu atom tersebut juga mempunyai energi tertentu dan ini disebut sinar-X karakteristik. Energi pancaran elektron dalam bentuk sinar-X akan dideteksi dan dihitung oleh EDS dan akan dihasilkan keluaran berupa grafik puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur terkandung. EDS juga memiliki kemampuan untuk melakukan elemental masing-masing elemen di permukaan bahan. EDS juga dapat digunakan untuk menganalisi secara kuantitas dari persentase masing-masing elemen (Chan, 1993).

O. Metode Kehilangan Berat

Metode ini dilakukan dengan cara mencelupkan spesimen logam ke dalam media korosif. Pengujian korosi ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi berdasarkan kehilangan berat material yang terkorosi dalam medium tertentu. Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji, kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan ke dalam rumus untuk mendapatkan kehilangan berat (Supardi, 1997).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

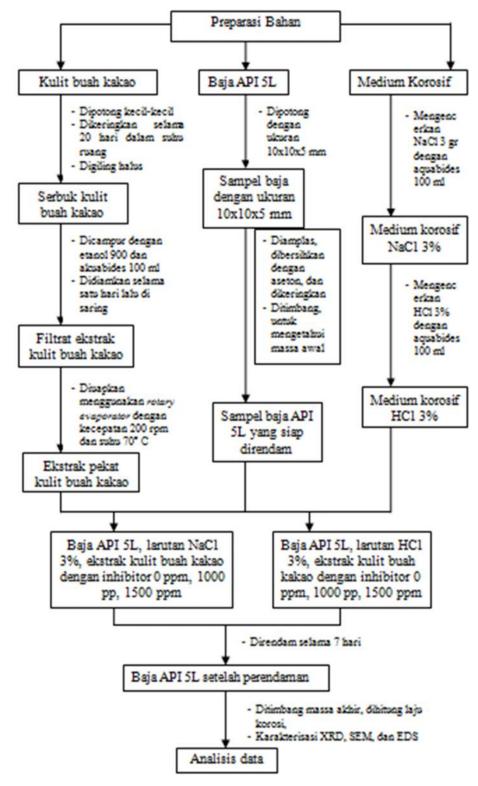
Penelitian dilakukan pada bulan Desember 2017 sampai Maret 2018. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Dasar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Lampung, Laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Universitas Lampung, Laboratorium Mesin SMKN 2 Bandar Lampung, dan Laboratorium PSTBM-BATAN Gedung 71 kawasan PUSPITEK (Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi).

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: penguap putar vakum (rotary evaporator), neraca digital, alat pemotong baja, gergaji mesin, jangka sorong digital, polisher machine, gelas ukur, decicator, plastik kecil, botol film, beaker glass, mesin penggiling, spatula, pipet tetes, benang, aluminium foil, kertas amplas, XRD (X-Ray Diffraction), SEM (Scanning Electron Microscopy), EDS (Energy Dispersive Spectroscopy). Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit buah kakao, baja karbon rendah (API 5L), natrium klorida (NaCl), asam klorida (HCl), etanol dan aquabides.

C. Preparasi Bahan

Prosedur kerja penelitian dapat dilihat pada diagram alir dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

1. Pembuatan Larutan Inhibitor dari Ekstrak Kulit Buah Kakao

Tahapan pembuatan larutan inhibitor ekstrak kulit buah kakao adalah sebagai berikut:

- 1. 1 kg kulit buah kakao dibersihkan dari kotoran-kotoran, kemudian dirajang kecil-kecil dan dikeringkan di udara terbuka selama 3 hari.
- 2. Kemudian kulit yang telah kering digiling hingga menjadi serbuk.
- 3. Melakukan metode maserasi dengan memasukkan kulit buah kakao kering yang telah halus sebanyak 300 gram ke dalam wadah botol yang berisi etanol.
- 4. Metode maserasi dilakukan dengan merendam kulit buah kakao kering dalam pelarut selama 1 hari.
- Hasil perendaman kemudian disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrat.
- 6. Filtrat kemudian diuapkan menggunakan mesin *rotary evaporator* dengan kecepatan 200 rpm dan suhu 49-50°C hingga menghasilkan ekstrak pekat.

2. Preparasi sampel baja (pemotongan dan pembersihan)

Untuk menyiapkan baja dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Memotong baja karbon API 5L dengan panjang 10 mm, lebar 10 mm, dan tinggi 5 mm.
- Membersihkan baja dan memperhalus permukaannya menggunakan amplas untuk menghilangkan pengotor.
- Mencelupkan baja ke dalam aseton untuk membersihkan pengotor yang menempel pada baja.

3. Penimbangan massa awal sampel

Baja yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massa sebelum pengkorosian.

4. Pembuatan medium korosif

Medium korosif adalah medium yang dapat mengakibatkan terjadinya korosi. Medium korosif pada penelitian ini adalah NaCl dan HCl dengan konsentrasi 3%. Cara pembuatan medium NaCl dan HCl yaitu mengencerkan NaCl dan HCl dengan aquabides. Untuk pengenceran medium NaCl dan HCl ditentukan secara matematis berdasarkan persamaan (3.1).

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \tag{3.1}$$

Dimana:

 V_I = Volume mula-mula

 M_1 = Konsentrasi mula-mula

 V_2 = Volume setelah pengenceran

 M_2 = Konsentrasi setelah pengenceran

Pembuatan medium NaCl 3% atau HCl 3% yaitu dengan 30 gram NaCl atau HCl 30 ml ditambahkan dengan aquabides sampai volume 1000 ml.

5. Perendaman

Sampel yang digunakan ada 4 sampel direndam pada medium korosif NaCl dan 4 sampel direndam pada HCl dengan menambahkan inhibitor ekstrak kulit buah

kakao (*Theobroma cacao*) selama 168 jam. Konsentrasi inhibitor yang digunakan sebesar 0 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, dan 1500 ppm.

6. Pembersihan dan Penimbangan Massa Akhir Sampel

Sampel yang telah direndam dalam medium korosif ditambah inhibitor dikeringkan. Selanjutnya ditimbang untuk mengetahui massa akhir sampel.

7. Uji XRD (X-Ray Diffraction)

Sampel yang telah mengalami pengkorosian kemudian diuji menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) yang bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel.

8. Uji SEM (Scanning Electron Microscopy) dan EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)

Sampel yang telah mengalami perlakuan diuji menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) yang dilengkapi dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk mengetahui struktur permukaan sampel dan melihat unsurunsur kimia yang ada pada sampel.

9. Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat berdasarkan persamaan (3.2) dengan konstanta laju korosi yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1.	Konstanta	lain	korosi	nada	haia	karbon
1 4001 5.1.	IXOIIStailta	Iuju	KOLOSI	paua	Ouju	Kuioon

No	Konstanta Laju Korosi	V
110	Konstanta Laju Korosi	<u> </u>
1	Mils per year (m/y)	$3,45 \times 10^6$
2	Inches per year (inches/y)	$3,45 \times 10^3$
3	Millimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
4	Micrometers per year (µm/y)	$8,76 \times 10^7$
5	Milligrams per square decimeter per day (mm/d)	$2,40 \times 10^6$

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \tag{3.2}$$

Dimana: CR = I

CR = Laju korosi (mm/y)

K = Konstanta laju korosi W = Selisih massa (mg)

T =Waktu perendaman (tahun)

 $A = \text{Luas permukaan (mm}^2)$

= Massa jenis (mg/mm²)

Sedangkan untuk menghitung efisiensi penggunaan inhibitor dihitung

menggunakan persamaan (3.3).

$$\eta (\%) = \frac{(CRuninhibited - CRinhibited)}{CRuninhibited} \times 100\%$$
 (3.3)

Dimana: = Efisiensi inhibitor (%) CR

 $CR_{uninhibited}$ = Laju korosi tanpa inhibitor (mm/y) $CR_{inhibited}$ = Laju korosi dengan inhibitor (mm/y)

(Fontana dan Greene, 1986).

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Semakin besar konsentrasi inhibitor ekstrak ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) yang digunakan maka laju korosi akan semakin berkurang dan inhibisi akan semakin meningkat.
- Efisiensi terbesar terdapat pada konsentrasi inhibitor 1500 ppm baik pada
 HCl dan NaCl dengan efisiensi masing-masing 73,6% dan 93,39%.
- Hasil karakterisasi XRD memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk adalah Fe murni.
- 4. Hasil karakterisasi SEM memperlihatkan *cluster* (gumpulan) tidak merata dan ukuran lebih kecil, lubang (*hole*) dan retakan (*crack*) juga lebih sedikit dengan penambahan dibandingkan tanpa penambahan inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*).
- Hasil karakterisasi EDS memperlihatkan senyawa yang terbentuk terdapat
 FeO lebih dominan.
- 6. Dari ketiga hasil karakterisasi dan perhitungan laju korosi didapatkan bahwa inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) efektif dalam menginhibisi

laju korosi pada baja karbon API 5L dan dari kedua medium inhibitor ekstrak kulit kakao (*Theobroma cacao*) lebih efektif pada medium NaCl.

B. SARAN

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan perendaman dalam media korosif yang berbeda dengan konsentrasi yang lebih bervariasi dan logam yang berbeda untuk membandingkan laju korosi, produk korosi, dan jenis korosi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriana, 2010. Ekstrak Bahan Alam sebagai Alternatif Inhibitor Korosi. (*Skripsi*). Medan: Universitas Sumatera Utara. Pp. 235-238.
- Aidil, E. and Shams, A. M. 1972. Corrosion Inhibition by Naturally Occurring substance-I. The Effect of Hibiscus Subdariffa (Karkade) Extract on the Dissolution of Al and Zn. *Corrosion Science*. Vol. 12. No. 2. Pp. 897-904.
- Ameer, M. A., Khamis, E. and Al-Senani, G. 2000. Effect of Thiosemicarbozones on Corrosion of Steel of Phoporic Acid Produced by Wet Process: Ads. *Science Technologies*. Vol. 2. Pp. 127-138.
- Amanto, H. dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Bumi Aksara. Jakarta. Pp.63-87.
- Asdim, 2007, penentuan Efisiensi Inhibisi Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia mangostana L*) pada Reaksi Korosi Baja dalam Larutan Asam. *Jurnal Gradien*. Vol. 3. No. 2. Bemgkulu: Universitas Bengkulu. Hal 273-276.
- Ashby, M. F. and Jones, R. H. 1992. *Engineering Materials 2*. Oxford: Pergamon Press.
- ASM handbook. 1993. Properties and Selection: Iron Stell and High Performance Alloys. *Tenth Edition*. Metals handbook.Vol 6.
- Athur, B. 1992. *Konsep Fisika Modern*. Jilid 3. Terjemahan The Houw Liong Ph.D. Jakarta: Erlangga.
- Bundjali, B., N. M. Surdia, Oei Ban Liang, dan Bambang, A. 2006. *Pelarutan Besi Selektif pada Korosi Baja Karbon dalam Larutan Buffer Asetat, Natrium Bikarbonat-CO*₂ *Jenuh*. ITB. Bandung. Vol. 38A. Pp. 149-161.
- Chan, S. G., Beck, T. R., 1993. *Electrochemical Tecnology Corp*. United State of America: Seattle Washington. Pp. 125-129.
- Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Rays Diffraction, Second Edition*. United State of America: Adison-Wesley Publishing Company Inc. Pp. 1-87.

- Dalimunthe, I. S. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi*. Medan: Universitas Sumatera Utara. Pp. 45-48.
- Emriadi, 2000. *Mekanisme dan Laju Reaksi Inhibisi Korosi Baja Oleh Tanin*, Universitas Andalas, Sumatera Barat.
- Fontana, M. C. dan Greene, M. D. 1986. *Corrosion Enginering Hand Book*. New York: Mc Graw Hill Book Company. Pp. 144-147.
- Griffin, H dan riessen, V. A. 1991. *Scanning Electron Microscopy Course Notes*. Nedlands: The University of Western Australia. Pp. 1-8.
- Hagerman, Ann E. 2002. *Tannin Chemistry*. *Tannin Handbook*. Department of Chemistry and Biochemistry. Oxford: Miami University.
- Harborne, J. B. 1984. *Metode Fotokimia*. Bandung: ITB. Pp.151.
- Harborne, J.B. 1987. Metode Fitokimia Penuntun Cara Modern Menganalisa Tumbuhan.ITB. Bandung.
- Haryati. 2008. *Potensi dan Peluang Tanaman Obat*. Jakarta: Erlangga. Hal. 112 dan 2328.
- Hermawan, S., Rizky, Y., Nasution, A. Dan Hasibuan, R. 2012. Penentuan Efisiensi Inhibisi Korosi Baja Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Kakao (Theobroma cacao). *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol. 1. No. 2. Medan: USU.
- Hermawan, B. 2007. Ekstrak Bahan Alami Sebagai Inhibitor korosi.
- Ilim dan Hermawan, B. 2008. Study Penggunaan Ekstrak Buah Lada, Buah Pinang dan Daun Teh Sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Air Laut Buatan Yang Jenuh Gas. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II*. Bandar Lampung: Universitas Lampung. Hal. 257-266.
- Jones, Denny A. 1992. *Principles and Preventation of Corrosion*. Singapura: Maxwell Macmillan. Pp. 12.
- Landolt, D. 2007. *Corosion and Surface Chemistry of Metals*. First Edition. EPFL Press. Lausanne.
- Linnert, G. E. 1994. Welding Metallurgy: Carbon and Alloy Steels. Fourt Edition. Miam: American Welding Society.
- Lukman dan Triwikantoro. 2009. Pengaruh Unsur Korosif pada Air Hujan terhadap Perilaku Korosi Baja Karbon Rendah. *Seminar Nasional Pascasarjana*. ITS, Surabaya

- Muliati, 2009. Reaktivitas Gugus Hidroksil Tanin Kulit Buah Kakao pada Pewarnaan Sutera, Jurnal Industri Hasil Perkebunan. vol. 4. No. 1. Makassar.
- Murabbi, A. L dan Sulistijono. 2012. Pengaruh Konsentrasi Larutan Garam Terhadap Laju Korosi Dengan Metode Polarisasi dan Uji Kekerasan Serta Uji tekuk Pada Plat Bodi Mobil. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 1.No. 1. Pp. 4.
- Nurdin, Isdriayani dan Syahri, M. 1998. *Inhibisi Korosi Baja Karbon di dalam Larutan Karbonat Bikarbonat*. Bandung: ITB.
- Piere R, Roberge. 2008. *Corrosion Engineering-Principles and Practice*. United State of America: The Mc Graw-Hill Companies Inc. Pp. 23-28.
- Priyotomo, G. 2008. *Kamus Saku Korosi Material*. Tangerang: Metalurgi LIPI. Pp. 4-14.
- Purnomo, A. 2015. Pengaruh Variasi Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Kulit Buah Kakao Terhadap Laju Korosi Pipa Baja Karbon A53 Pada Media Air Laut. *Jurnal Rotor*. Vol. 8. No. 1. Kalimantan: jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Reed, S. J. B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press, Florida. P. 23-24.
- Richman, M. H. 1967. *An Introduction to The Science of Metals*. United State of America: Blaisdell Publishing Company, Pp. 78-79.
- Rieger, H. P. 1992. *Electrochemistry, Second Edition*. New York: Chapman and Hall Inc. Pp. 412-421.
- Roberge, P. R. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: Mc Graw-Hill.
- Roberge, P. R. 2008. *Corrosion Engineerig-Principles and Practice*. New York: The Mc Graw-Hill Companies Inc. Pp. 23-38.
- Rustandi, Andi, Iandiono. Dito. 2011. Studi Laju Korosi Baja Karbon untuk Pipa Penyalur Proses Produksi Gas Alam yang Mengandung Gas CO₂ pada Lingkungan NaCl 0.5, 2.5, 2.5, dan 3.5%. (*Skripsi*). Depok: Universitas Indonesia. Pp. 44-46.
- Sack, R. J. 1976. Welding Principle and Practices. New York: Mc Graw Hill.
- Sari, D. M., Handani, S., dan Yetri, Y. 2013. Pengendalian Laju Korosi Baja St-37 dalam Medium Asam Klorida dan Natrium Klorida menggunakan Inhibitor Ekstrak Daun Teh (Camelia Sinensis). *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 2. P. 204-211.

- Supardi, R. 1997. Korosi Edisi Pertama. Bandung: Tarsito. Pp. 56-58.
- Trethewey, K. R and Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama. Pp. 27-28.
- Vlack, Van L. H. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Edisi kelima. Jakarta: Erlangga. Pp. 101-104.
- Yanuar, A. P., Pratikno, Herman, Titah, dan Hermin, S. 2016. Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 5. No. 2.
- Wiryosumarto, H. 2000. Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Erlangga.
- Wulandari, A. 2011. Studi Ketahanan Korosi H2 Pada Baja Karbon Rendah Yang Mengalami Canai Hangat 600°C. (*Skripsi*). Depok: Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.