ANALISIS LAJU KOROSI BAJA St37 MENGGUNAKAN INHIBITOR EKSTRAK *THEOBROMA CACAO* DENGAN VARIASI KONSENTRASI 0%, 4% dan 8% DALAM MEDIUM KOROSIF HCl 3% PADA SUHU 100 °C

(Skripsi)

Oleh

IDAWATI PANJAITAN

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021

ABSTRACT

CORROSION RATE ANALYSIS OF ST37 STEEL USING INHIBITOR *THEOBROMA CACAO* EXTRACT WITH VARIATIONS 0%, 4% and 8% CONCENTRATION IN MEDIUM 3% HCL CORROSION AT 100 ^{o}C

By

Idawati Panjaitan

Research has been carried out on the analysis of the corrosion rate of St37 steel using the theobroma cacao extract inhibitor with various concentrations of 0%, 4% and 8% in 3% HCl corrosive medium at 100 ^{o}C. The effectiveness of inhibitors derived from cocoa leaves on the corrosion of St37 steel in HCl solution has been investigated using the weight loss method, X-Ray Diffraction (XRD), and Scanning Electron Microscopy (SEM) equipped with Energy Dispersive Spectroscopy (EDS). Based on the results of research that has been done, the higher the immersion temperature, the greater the corrosion rate on steel without inhibitors. The highest effectiveness of cocoa theobroma extract was found at a concentration of 8% at a temperature of 100 ^{o}C with an efficiency of 88.91%. The results of XRD analysis after the addition of the inhibitor of theobroma cacao extract reduced the peaks to a pure Fe phase. From the three sample analysis processes and the calculation of the corrosion rate, it was found that the inhibitor of cocoa leaf extract (theobroma cacao) was effective in inhibiting the corrosion rate of St37 steel.

Key words : St37 steel, cocoa leaf extract, corrosion inhibitor and HCl.

ABSTRAK

ANALISIS LAJU KOROSI BAJA St37 MENGGUNAKAN INHIBITOR EKSTRAK *THEOBROMA CACAO* DENGAN VARIASI KONSENTRASI 0%, 4% dan 8% DALAM MEDIUM KOROSIF HCL 3% PADA SUHU 100 ^{o}C

Oleh

Idawati Panjaitan

Telah dilakukan penelitian tentang analisis laju korosi baja St37 menggunakan inhibitor ekstrak *theobroma cacao* dengan variasi konsentrasi 0%, 4% dan 8% dalam medium korosif HCl 3% pada suhu 100 ^{o}C. Efektivitas inhibitor yang berasal dari daun kakao pada korosi baja St37 dalam larutan HCl telah diteliti menggunakan metode kehilangan berat, *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan semakin tinggi suhu perendaman semakin besar laju korosi pada baja tanpa inhibitor. Efektivitas tertinggi ekstrak *theobroma kakao* terdapat pada konsentrasi 8% pada suhu 100 ^{o}C dengan efesiensi 88,91 %. Hasil analisis XRD setelah penambahan inhibitor ekstrak *theobroma cacao* puncak-puncak berkurang, menjadi fasa Fe murni. Dari ketiga proses analisis sampel dan perhitungan laju korosi didapatkan bahwa inhibitor ekstrak daun cokelat (*theobroma kakao)* efektif dalam menginhibisi laju korosi pada baja St37.

Kata kunci : Baja St37, ekstrak daun cokelat, inhibitor korosi dan HCl.

Judul Skripsi	:	**Analisis Laju Korosi Baja St37 Menggunakan Inhibitor Ekstrak *Theobroma Cacao* Dengan Variasi Konsentrasi 0%, 4%, dan 8% Dalam Medium Korosif HCl 3% Pada Suhu 100 °C**
Nama Mahasiswa	:	Idawati Panjaitan
Nomor Pokok Mahasiswa	:	1617041047
Jurusan	:	Fisika
Fakultas	:	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I	Pembimbing II
Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.	**Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.**
NIP. 196107231986031003	NIP. 195708251986031002

2. Ketua Jurusan Fisika

Gurum Ahmad Pauzi, S.Si, M.T
NIP. 198010102005011002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.** .....

Sekertaris : **Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si.** .....

Penguji
Bukan pembimbing : **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **5 Agustus 2021**

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, 5 Agustus 2021

Idawati Panjaitan
NPM. 1617041047

RIWAYAT HIDUP

Idawati Panjaitan dilahirkan di Sekincau Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung pada 08 Agustus 1998. Penulis merupakan anak kelima dari enam bersaudara, dari pasangan Bapak Helmot Panjaitan dan Ibu Bersaida Sihite. Penulis yang sering disapa "Ida" pernah menempuh pendidikan di SD Negeri 2 Labuhan Dalam Tahun 2004-2010, SMP Negeri 5 Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi tahun 2010-2013, dan melanjutkan ke SMA Negeri 4 Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi Tahun 2013-1016. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) tahun 2016 dan mengambil Jurusan Fisika. Selama menjalani pendidikan tinggi tersebut, penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) sebagai anggota di bidang minat dan bakat selama dua periode kepemimpinan tahun 2016-2018, Ketua Bidang Dana dan Usaha periode 2018/2019 di Persekutuan Okuimene Mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (POMMIPA), Anggota Bidang dana

Dana dan Usaha periode 2018/2019 di di Paguyuban Karya Salemba Empat Universitas Lampung dan Bendahara Umum periode 2019/2020

di Paguyuban Karya Salemba Empat Universitas Lampung. Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Laboratorium Fisika Material, Universitas Lampung dengan judul "**Panduan Teknis dan Pengenalan Alat-alat laboratorium fisika material**".

MOTTO

"Dan apa saja yang kamu minta dalam doa dengan penuh kepercayaan, kamu akan menerimanya."

(MATIUS 21 : 22)

"Dengan apakah seorang muda mempertahankan kelakuannya bersih? Dengan menjaganya sesuai dengan firman-Tuhan"

(MAZMUR 119 :9)

Dengan penuh syukur kepada Allah Yang Maha Esa, Karya ini dipersembahkan kepada:

Kedua Orang Tua Ayahanda Helmot Panjaitan dan Ibunda Bersaida Sihite

Terimakasih atas segala Doa, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga aku mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

Bapak – Ibu Guru serta Dosen

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka hati dan wawasanku

Sahabat dan Teman Seperjuangan

Terimakasih atas segala kebaikan dan kebersamaan kalian

Almamaterku Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Analisis Laju Korosi Baja St37 Menggunakan Inhibitor Ekstrak *Theobroma Cacao* Dengan Variasi Konsentrasi 0%, 4%, dan 8% Dalam Medium Korosif HCl 3% Pada Suhu 100 ^{o}C"** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini. Oleh karna itu, adanya kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat menambah wawasan literasi keilmuan serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya yang lebih baik.

Bandar lampung, 5 Agustus 2021

Penulis,

Idawati Panjaitan

SANWACANA

Puji Syukur penulis panjatkan atas kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Analisis Laju Korosi Baja St37 Menggunakan Inhibitor Ekstrak *Theobroma Cacao* Dengan Variasi Konsentrasi 0%, 4%, dan 8% Dalam Medium Korosif HCl 3% Pada Suhu 100 ^{o}C".** Terselesainya penelitian dan penulisan skripsi ini tidak hanya dilakukan oleh penulis sendiri namun adanya kontribusi beberapa pihak yang turut menyukseskan dan membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah ikut serta membantu penulis diantaranya:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberi ilmu dan masukannya dalam pelaksaan penelitian dan penulisan skripsi.
2. Bapak Drs. Ediman Ginting Suka, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II atas segala ilmu, saran dan bimbingannya selama pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi M.Si., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah mengkoreksi kekurangan, memberi kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

5. Dosen Jurusan Fisika atas ilmu pengetahuan yang diberikan sebagai penunjang bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan di Universitas Lampung dan bekal untuk masa yang akan mendatang.
6. Kedua orang tuaku, Ayahanda Helmot Panjaitan dan Ibunda Bersaida Sihite yang telah banyak memberikan dukungan serta moril dan materil, senantiasa terus mendoakan dan memberi semangat yang luar biasa, serta kebersamaan sampai penulis menyelesaikan skripsi.
7. Saudara-sauraku : kak juni, kak ester, bang riky, josua dan kak ita yang selalu memberikan semangat dan bantuan materil selama masa studi di Unila.
8. Yayasan Karya Salemba Empat (KSE) yang telah memberikan saya beasiswa dan pelatihan *Soft skill* untuk menunjang kuliah saya.
9. Rekan bimbingan skripsi : pebrina siringoringo, andini yulian dan indri wulandari yang sudah berjuang bersama-sama dan saling memberi motivasi.
10. Sahabatku Andini Yulian yang selalu menyemangati untuk dapat menyelesaikan skripsi dan membantu setiap prosesnya. Serta rekan-rekan Dusper : Agata, Anggi, Riyan, Jenefer, Juwan, Obet dan Wahyu.
11. Saudara-saudara AOG GKKI Filadelfia.

Serta berbagai pihak yang ikut serta membantu dalam menyelesaikan skripsi dan masa studi penulis yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga Tuhan selalu membalas dengan hal yang lebih baik.

Bandar Lampung, 5 Agustus 2021

Idawati Panjaitan

DAFTAR ISI

Halaman

ABSTRACT i
ABSTRAK ii
JUDUL SKRIPSI iii
PENGESAHAN iv
PERNYATAAN iv
RIWAYAT HIDUP vii
MOTTO ix
PERSEMBAHAN x
KATA PENGANTAR xii
SANWACANA xii
DAFTAR ISI xiv
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL xviii

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang 1
B. Rumusan Masalah 6
C. Tujuan Penelitian 7
D. Batasan Masalah 7

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi 8
B. Laju Korosi 12
C. Baja St37 15
D. Inhibitor Korosi 17
E. Tanin 19
F. Daun Kakao (*Theobroma Cacao*) 21
G. X-Ray Diffraction (XRD) 22

H. *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) 25
I. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) 28

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian 30
B. Alat dan Bahan 30
C. Prosedur Percobaan 30
D. Diagram Alir 33

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Fitokimia Tanin dan Analisis FTIR 37
B. Hasil Perhitungan Laju Korosi dengan Metode Kehilangan Berat (*weight loss*) 38
C. Hasil Analisis XRD 43
D. Hasil Analisis SEM dan EDS 48

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 54
B. Saran 55

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1. Struktur tanin (Hageman, 2002)..... 20

Gambar 2. 2. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom kristal yang berjarak d (Richman, 1967). 23

Gambar 2. 3. Skema tabung pesawat Sinar-X..... 25

Gambar 2. 4. Skema SEM (Reed, 1993)..... 26

Gambar 2. 5. Skema alat spektroskopi FTIR, (1) Sumber inframerah, (2) Pembagi berkas (*beam spliter*), (3) Kaca pemantul, (4) Sensor inframerah, (5) Sampel, dan (6) Tampilan (Marcott, 1986) 28

Gambar 3. 1. Diagram preparasi pembuatan ekstrak daun kakao…….33

Gambar 3. 2. Diagram preparasi pembuatan baja..... 34

Gambar 3. 3. Diagram preparasi pembuatan medium korosif 34

Gambar 3. 4. Diagram proses uji korosi bahan..... 35

Gambar 4. 1. Hasil analisis FTIR ekstrak daun kakao…….....37

Gambar 4. 2. Hubungan penambahan volume inhibitor dengan laju korosi pada masing-masing suhu perendaman 40

Gambar 4. 3. Difraktogram analisis XRD sampel 100-0..... 44

Gambar 4. 4. Difraktogram analisis XRD sampel 100-4..... 46

Gambar 4. 5. Hasil analisis SEM pada dengan perbesaran 3000x: (a) sampel *raw* perbesaran 1000x, (b) sampel 100-0, (c) sampel 100-4 pengulangan……49

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1. Komposisi kimia baja St37 17

Tabel 3. 1. Pemberian Kode sampel baja St37 pada suhu 80℃..... 31

Tabel 3. 2. Pemberian Kode sampel baja St37 pada suhu 100℃..... 31

Tabel 4. 1. Hasil analisis pengurangan massa baja St37 dalam medium korosif HCl 3%..... 38

Tabel 4. 2. Hubungan penambahan volume inhibitor dengan laju korosi pada HCl 3% 39

Tabel 4. 3. Pengaruh volume inhibitor dan waktu perendaman terhadap efisiensi inhibitor..... 42

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Korosi atau pengkaratan dikenal sebagai peristiwa kerusakan logam karena adanya faktor metalurgi (pada material itu sendiri) dan reaksi kimia dengan lingkungannya yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas suatu bahan logam (Trethewey dan Chamberlin, 1991). Biasanya proses korosi logam berlangsung secara elektrokimia yang terjadi secara simultan pada daerah anoda dan katoda. Korosi logam merupakan salah satu masalah penting yang dihadapi oleh kelompok industri maju yang menggunakan material dasar logam seperti jembatan, mesin, pipa, kapal, dan lain sebagainya (Rieger, 1992). Diperkirakan bahwa di Amerika Serikat saja biaya tahunan untuk korosi mencapai sepuluh milyar dollar.

Korosi merupakan fenomena alam yang tidak dapat dihentikan tetapi lajunya dapat dikurangi. Berbagai cara telah dilakukan untuk mengurangi laju korosi, salah satunya dengan pemakaian inhibitor. Dalam beberapa metode pengendalian dan pencegahan korosi, penggunaan inhibitor korosi sangat populer. Inhibitor korosi dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan akan menurunkan serangan korosi lingkungan

terhadap logam. Sejauh ini penggunaan inhibitor merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mencegah korosi, karena biayanya yang relatif murah dan prosesnya yang sederhana (Ilim dan Hermawan, 2008). Inhibitor korosi disamping digunakan untuk menghambat laju korosi sekaligus meningkatkan dan memperpanjang umur material (Ituen dkk., 2017). Inhibitor biasanya ditambahkan dalam jumlah sedikit, baik secara kontinu maupun periodik menurut suatu selang waktu tertentu. Pelapisan pada permukaan logam dengan suatu lapisan seperti penambahan inhibitor dapat mengurangi laju korosi. Inhibitor diaplikasikan ke berbagai sistem, yaitu sistem pendingin, unit kilang, bahan kimia, unit produksi minyak dan gas, ketel, dan lain sebagainya (Singh dkk., 2012).

Umumnya inhibitor korosi berasal dari senyawa organik dan anorganik. Inhibitor anorganik adalah inhibitor yang diperoleh dari mineral-mineral yang tidak mengandung unsur karbon dalam senyawanya. Material dasar dari inhibitor anorganik antara lain seperti nitrit (NO_2), kromat (CrO_4), silikat (SiO_2) dan fosfat (PO_4) merupakan senyawa anorganik yang telah banyak digunakan (Aidil, 1972). Inhibitor anorganik bersifat sebagai inhibitor anodik karena inhibitor ini memiliki gugus aktif, yaitu anion negatif yang berguna untuk mengurangi korosi. Senyawa-senyawa ini juga sangat berguna dalam aplikasi pelapisan antikorosi, tetapi mempunyai kelemahan utama yaitu bersifat toksik dan tidak ramah lingkungan (Haryono, 2010). Sedangkan inhibitor organik adalah inhibitor yang berasal dari bagian tumbuhan yang mengandung tanin. Tanin merupakan zat kimia yang terdapat pada daun, akar, kulit, buah, dan batang tumbuhan (Haryati, 2008). Senyawa ekstrak bahan alam yang dijadikan inhibitor harus mengandung atom N, O, P, S

dan atom-atom yang memiliki pasangan elektron bebas yang dapat terikat pada atom pusat dari senyawa koordinasi atau bermanfaat membentuk senyawa kompleks dengan logam (IIim dan Hermawan, 2008).

Terlepas dari berbagai hal tentang inhibitor organik, inhibitor alami yang juga disebut sebagai inhibitor hijau, mendapat perhatian pada tahun-tahun belakangan ini. Ekstrak tumbuhan sebagai inhibitor organik alami telah diuji selama bertahun-tahun. Oleh, karena itu, penggunaan inhibitor korosi untuk mencegah degradasi logam tidak dapat diabaikan. Sejumlah besar penelitian ilmiah telah dikhususkan untuk subjek inhibitor korosi untuk baja ringan di media asam (Ostovari, 2009). Inhibitor yang paling mungkin adalah berasal dari ramuan obat dari tanaman yang telah dikenal sebelumnya. Berbagai ekstrak dari tanaman obat ataupun tumbuhan liar seperti kulit, biji dan daun akan dapat dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi (Ji dkk., 2012).

Ekstrak tanaman kemudian muncul sebagai inhibitor korosi yang efektif karena biaya rendah, biodegradabilitas tinggi, ketersediaan tinggi, sumber bahan yang mudah diperbaharui, dapat diterima secara ekologis dan sifat tidak beracun (Zhang, 2012). Beberapa ekstrak bahan alam mengandung senyawa alam yang mampu mengurangi laju korosi logam seperti tanin, asam organik, asam amino, alkaloid dan pigment (Irianty, 2013). Senyawa tanin dipermukaan baja akan menghambat reaksi korosi baja dengan cara membentuk senyawa kompleks dengan Fe_3 yang akan mengalami serangan ion korosif dipermukaan baja (Favre dan landolt, 1993). Senyawa tanin dan flavonoid banyak terkandung dalam beberapa jenis tumbuhan hijau. Tanin dapat meningkatkan pembentukan film diatas permukaan logam sehingga dapat membantu dalam proses inhibisi korosi

(Okafor dkk, 2008). Proses inhibisi dari tanin dikaitkan kepada pembentukan lapisan pasif dari permukaan logam. Tanin memiliki gugus fenolik yang memiliki kemampuan untuk membentuk garam *tanninate* dengan ion *ferric*, proses inhibisi korosi dari tanin dapat disebabkan oleh pembentukan jaringan dari garam *ferric tanninate* yang melindungi permukaan logam (Nahle dkk, 2010). Salah satu jenis tumbuhan yang mengandung tanin adalah daun kakao (*Theobroma cacao*) (Haryati, 2008).

Efektivitas ekstrak alam yang telah diteliti sebelumnya diantaranya ekstrak daun pepaya (*Carica Papaya l*) efektivitas tertinggi terdapat pada sampel baja St37 dengan waktu perendamaan 6 hari dengan efisiensi 71,02 % (Sanjaya, 2018). Ekstrak kulit semangaka efektivitas tertinggi terdapat pada sampel baja SS-304 dengan waktu perendaman 144 jam dengan efisiensi 49,60 % (Huzaupah, 2019). Penelitian selanjutnya menggunakan ekstrak daun jambu biji efektivitas tertinggi terdapat pada sampel baja St37 dengan waktu perendaman 3 jam pada suhu 80 ^{o}C dengan efisiensi 84,07% (Citra, 2019).

Salah satu jenis inhibitor pabrikan yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari ialah air radiator. Air radiator memiliki fungsi sebagai pendingin dan pelindung korosi pada mesin kendaraan. Air radiator dikombinasikan dengan *organic carboxylates inhibitor* yang berguna sebagai pelindung korosi pada mesin. Panas kendaraan berkisar antara 80 ℃ sampai 120 ℃ , itu sebabnya mengapa air radiator sangat berpengaruh penting pada mesin kendaraan (Ryan, 2016).

Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan suhu 80 ^{o}C dan 100 ^{o}C untuk melihat efektivitas inhibitor yang digunakan pada sampel baja, hal ini sesuai penelitian yang dilakukan sebelumnya, Citra, (2019) melakukan penelitian untuk mengetahui efektivitas ekstrak daun jambu biji sebagai inhibitor pada baja St37 dalam medium korosif HCL 3%, perendaman baja pada suhu 80 ^{o}C dan 100 ^{o}C dilakukan dengan variasi penambahan konsentrasi inhibitor 0%, 4% dan 8%. Hasil menunjukkan laju korosi terendah terdapat pada konsentrasi 8% pada suhu perendaman 80 ^{o}C. Penelitian yang akan dilakukan selanjutnya, diharapkan dapat menghasilkan ekstrak baru yang dapat menjadi inhibitor dengan efektivitas yang lebih tinggi pada suhu 100 ^{o}C.

Malfinora dkk, (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh ekstrak daun kakao terhadap korosi baja Hardox 450 dalam larutan korosif H_2SO_4 3% dan Na_2SO_4 3%. Metode ekstraksi yang digunakan yaitu metode meserasi. Variasi konsentrasi inhibitor yang digunakan adalah dari 1% hingga 10% dengan lama perendaman lima hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari variasi konsentrasi yang diberikan laju korosi berkurang dengan penambahan inhibitor. Semakin besar konsentrasi inhibitor yang ditambahkan maka nilai laju korosi akan semakin menurun dan nilai efisiensi inhibisi korosi semakin tinggi. Nilai efisiensi terbesar didapatkan pada penambahan konsentrasi inhibitor 10%, untuk medium korosif H_2SO_4 mencapai 63,89% dan untuk medium Na_2SO_4 mencapai 56,61%. Hal ini menunjukkan bahwa inhibitor ekstrak daun kakao efisien dalam mengendalikan laju korosi dalam medium H_2SO_4 dan Na_2SO_4. Dari analisis foto optik morfologi permukaan baja Hardox 450 memperlihatkan permukaan baja dengan penambahan ekstrak daun kakao mengalami korosi lebih sedikit.

Pada penelitian ini baja yang digunakan adalah baja karbon St37 yang direndam dalam medium korosif HCl 3 % selama 3 jam pada suhu 80 ^{o}C dan 100 ^{o}C. Penelitian ini menggunakan dua jenis inhibitor yaitu ekstrak daun kakao dengan konsentrasi 0%, 4% dan 8% dan air radiator (inhibitor pabrikan) sebagai pembanding. Sampel baja hasil korosi akan dihitung besar laju korosinya dengan menggunakan metode kehilangan berat. Kemudian sampel baja hasil korosi akan dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui senyawa penyusun dan gugus fungsi yang terikat pada sampel ekstrak daun kakao, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat fasa pada baja, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat struktur mikro, *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk melihat produk-produk korosi yang terjadi dan untuk menentukan laju korosinya digunakan metode kehilangan berat.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor ekstrak daun kakao dan Pengaruh suhu perendaman selama 3 jam dalam medium korosif HCl 3 % terhadap laju korosi pada baja karbon St37 ?
2. Berapakah efisiensi ekstrak daun kakao dalam menghambat korosi dan bagaimana dengan struktur mikro, fasa dan produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja Karbon St37 setelah direndam dalam larutan HCl 3%?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dilaksanakan ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi inhibitor ekstrak daun kakao dan pengaruh suhu perendaman dalam medium korosif HCl 3 % terhadap laju korosi pada baja karbon St37.
2. Mengetahui efisiensi ekstrak daun kakao dalam menghambat korosi dan mengetahui bentuk struktur mikro, fasa, serta produk-produk korosi yang dihasilkan pada baja karbon St37 setelah direndam dalam larutan HCl 3%.

D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini batasan masalah yang digunakan adalah :

1. Sampel yang digunakan adalah baja karbon St37.
2. Medium korosif yang digunakan adalah HCl 3%.
3. Perendaman baja pada medium korosif menggunakan inhibitor ekstrak daun *Theobrama Cacao* dengan konsentrasi 0%, 4%, dan 8% pada suhu 100 °C selama 3 jam.
4. Perendaman baja pada medium korosif HCl 3 % menggunakan inhibitor air radiator selama 3 jam.
5. Laju korosi dihitung dengan menggunakan metode kehilangan berat.
6. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan Fitokimia, FTIR, XRD, SEM dan EDS.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Korosi

Korosi merupakan masalah besar bagi bangunan dan peralatan yang menggunakan material dasar logam seperti gedung, jembatan, mesin, pipa, mobil, kapal, dan lain sebagainnya (Rieger, 1992). Korosi adalah salah satu proses perusakan material khususnya logam karena adanya suatu reaksi antara logam tersebut dengan lingkungan. Proses perusakan material yang terjadi menyebabkan turunnya kualitas material logam tersebut. 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 (Threthewey.dan Chamberlain, 1991).

Korosi didefinisikan sebagai penghancuran paksa zat seperti logam dan bahan bangunan mineral media sekitarnya, yang biasanya cair (agen korosif). Ini biasanya dimulai pada permukaan dan disebabkan oleh kimia dan dalam kasus logam, reaksi elektrokimia. Kehancuran kemudian dapat menyebar ke bagian dalam materi. Organisme juga dapat berkontribusi pada korosi bahan bangunan (Knofel, 1978).

Korosi dapat terjadi apabila terdapat empat elemen dibawah ini :

a) Anoda

Terjadi reaksi oksidasi, maka daerah tersebut akan timbul korosi

$$M \longrightarrow M^{+} + e \qquad (2.1)$$

b) Katoda

Terjadi reaksi reduksi, daerah tersebut mengkonsumsi elektron

c) Adanya hubungan *(Metallic Pathaway)*, tempat arus yang mengalir dari katoda ke anoda.

d) Larutan (*electrolyte*), larutan korosif yang dapat mengalirkan arus listrik, mengandung ion-ion.

Reaksi oksidasi dan reaksi reduksi merupakan komponen penting dalam terjadinya reaksi korosi. Reaksi oksidasi dikenal juga dengan nama pengkaratan. Reaksi oksidasi adalah peristiwa penggabungan suatu zat dengan oksigen. Reaksi oksidasi terjadi pada anoda. Pada anoda logam akan terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron. Reaksi oksidasi suatu logam dinyatakan dalam Persamaan 1 dan 2.

$$Na \rightarrow Na^{+} + e \qquad (2.2)$$

$$4\,Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 \qquad (2.3)$$

Sedangkan reaksi reduksi adalah peristiwa terjadinya pengeluaran oksigen dari suatu zat. Reduksi terjadi pada katoda. Pada katoda terjadi peristiwa penangkapan elektron seperti yang akan dinyatakan dalam Persamaan 3.

$$Na^{+} + e \rightarrow Na \qquad (2.4)$$

$$Fe^{+3} + e \rightarrow Fe^{+2} \qquad (2.5)$$

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2 \qquad (2.6)$$

Dengan demikian, maka oksidasi adalah peristiwa bertambahnya bilangan oksidasi suatu unsur, sedangkan reduksi adalah peristiwa berkurangnya bilangan oksidasi. Hal inilah yang sangat berpengaruh terhadap peristiwa reaksi korosi (Jones, 1992).

Kebanyakan logam ada secara alami sebagai bijih-bijih yang stabil dari oksida-oksida, karbonat atau sulfida. Diperlukan energi untuk mengubah bijih logam menjadi sesuatu yang bermanfaat,. Korosi hanyalah perjalanan sifat pembalikan satu proses yang tidak wajar kembali kepada suatu keadaan tenaga yang lebih rendah. Secara umum, tipe dari korosi dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Korosi Seragam (*Uniform Corrosion*)

   Korosi seragam merupakan korosi dengan serangan merata pada seluruh permukaan logam. Korosi terjadi pada permukaan logam yang terekspost pada lingkungan korosif.

2. Korosi Galvanik

   Korosi galvanik terjadi jika dua logam yang berbeda tersambung melalui elektrolit sehingga salah satu dari logam tersebut akan terserang korosi sedang lainnya terlindungi dari korosi. Untuk memprediksi logam yang terkorosi pada korosi galvanik dapat dilihat pada deret galvanik.

3. Korosi Celah

   Mirip dengan korosi galvanik, dengan pengecualian pada perbedaan konsentrasi media korosifnya. Celah atau ketidak teraturan permukaan lainnya seperti celah paku keling (*rivet*), baut, washer, gasket, deposit dan sebagainya, yang bersentuhan dengan media korosif dapat menyebabkan korosi terlokalisasi.

4. Korosi Sumuran

   Korosi sumuran terjadi karena adanya serangan korosi lokal pada permukaan logam sehingga membentuk cekungan atau lubang pada permukaan logam. Korosi logam pada baja tahan karat terjadi karena rusaknya lapisan pelindung (*passive film*).

5. Retak Pengaruh Lingkungan (*environmentally induced cracking*)

   Merupakan patah getas dari logam paduan ulet yang beroperasi di lingkungan yang menyebabkan terjadinya korosi seragam. Ada tiga jenis tipe perpatahan pada kelompok ini, yaitu : *stress corrosion cracking* (SSC), *corrosion fatigue cracking* (CFC), dan *hydrogen-induced cracking* (HIC).

6. Kerusakan Akibat Hidrogen (*Hydrogen damage*)

   Kerusakan ini disebabkan karena serangan hidrogen yaitu reaksi antara hidrogen dengan karbida pada baja dan membentuk metana sehingga menyebabkan terjadinya dekarburasi, rongga, atau retak pada permukaan logam. Pada logam reaktik seperti titanium, magnesium, zirconium dan vanadium, terbentuknya hidrida menyebabkan terjadinya penggetasan pada logam.

7. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)

   Korosi yang menyerang pada batas butir akibat adanya segregasi dari unsur pasif seperti krom meninggalkan batas butir sehingga pada batas butir bersifat anodik.

8. Dealloying

Dealloying adalah lepasnya unsureunsur paduan yang lebih aktif (anodik) dari logam paduan, sebagai contoh : lepasnya unsur seng atau Zn pada kuningan (Cu – Zn) dan dikenal dengan istilah *densification*.

9. Korosi Erosi

Korosi erosi disebabkan oleh kombinasi fluida korosif dan kecepatan aliran yang tinggi. Bagian fluida yang kecepatan alirannya rendah akan mengalami laju korosi rendah, sedangkan fluida kecepatan tinggi menyebabkan terjadinya erosi dan dapat menggerus lapisan pelindung sehingga mempercepat korosi.

10. Korosi Aliran (*Flow induced Corrosion*)

Korosi Aliran digambarkan sebagai efek dari aliran terhadap terjadinya korosi. Meskipun mirip, antara korosi aliran dan korosi erosi adalah dua hal yang berbeda. Korosi aliran adalah peningkatan laju korosi yang disebabkan oleh turbulensi fluida dan perpindahan massa akibat dari aliran fluida diatas permukaan logam. Korosi erosi adalah naiknya korosi dikarenakan benturan secara fisik pada permukaan oleh partikel yang terbawa fluida (Afandi dkk., 2015).

B. Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau *mill/year* (mpy, standar *British*). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki niai laju korosi antara 1 – 200 mpy (Fontana, 1986).

1. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Laju Korosi

Umumnya problem korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa factor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya:

1. Faktor Gas Teratur

a) Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada *mild stell alloys* akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :

Reaksi Anoda : $Fe \rightarrow Fe^{2-} + 2e$

Reaksi katoda : $O_2 + 2H_2O + 4e^4 \rightarrow OH$

b) Karbondioksida (CO_2), jika karbon dioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$ (2.7)

$Fe + H_2CO_3 \rightarrow FeCO_3 + H_2$ (2.8)

2. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walapun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak *uniform*, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

3. Faktor pH

   pH netral adalah 7, sedangkan ph < 7 bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk pH > 7 bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada pH < 7 dan pada pH > 13.

4. Faktor Bakteri Pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB) Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H2S, yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

5. Faktor Padatan Terlarut

   a) Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan *mild steel* dan lapisan *stainless steel*. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting, crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya *alooys.*

   b) Karbonat (CO_3), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah *scale*.

   c) Sulfat (SO_4), ion sulafat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfida yang korosif (Sidiq, 2013).

Metode kehilangan berat (*weight loss*) merupakan metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan laju korosi (Chan and Beck, 1993). Prinsip dari metode ini adalah dengan menghitung banyaknya material yang hilang atau kehilangan berat

setelah dilakukan pengujian rendaman sesuai dengan standar ASTM *International* (2004). Persamaan laju korosi dapat ditunjukkan pada Persamaan 6,

$$\mathrm{CR} = \frac{\mathrm{k\,W}}{\mathrm{A\,t\,D}} \tag{2.9}$$

dengan: k = konstanta laju korosi (87,6), W = kehilangan berat (mg), A = luas permukaan (mm^2), t = waktu (tahun), D = massa jenis (7,85 mg/mm^3)

Persamaan 6 diaplikasikan dalam menghitung banyaknya selisih massa logam. Logam yang telah dibersihkan dari oksida dinyatakan sebagai massa awal lalu diberi perlakuan pada suatu lingkungan yang korosif seperti di lingkungan asam selama waktu tertentu. Setelah itu dilakukan perhitungan massa kembali dari suatu logam setelah dibersihkan logam tersebut dari hasil korosi yang terbentuk dan massa tersebut dinyatakan sebagai massa akhir. Dengan mengambil beberapa data seperti luas permukaan yang terendam, waktu perendaman dan massa jenis logam yang di uji maka dihasilkan suatu laju korosi. Semakin besar laju korosi suatu logam maka semakin cepat material tersebut untuk terkorosi.

C. Baja St37

Baja telah banyak digunakan dibidang industri karena material ini kuat, mudah ditempa, mudah teroksidasi, daya hantar listrik dan panas yang baik (Yetri dkk.,2014). Baja merupakan material logam yang terbentuk dari paduan logam besi (Fe) dan karbon (C). Besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur penguat. Sifat mekanis pada baja bergantung pada kandungan karbon. Unsur karbon inilah yang banyak berperan dalam peningkatan performa pada baja (Wiryosumarto, 2000).

Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,05% hingga 1,5% sesuai dengan tingkatannya. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) memiliki kadar karbon 0,05-0,3%. Baja karbon rendah memiliki tingkat kekerasan relatif rendah, lunak, keuletan tinggi, dan mudah dibentuk. Jenis baja ini banyak digunakan sebagai konstruksi umum, baja tulangan beton, mur baut, dan rangka kendaran, baja karbon rendah juga memiliki sifat mudah ditempa dan dibentuk dengan mesin. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) memiliki kadar karbon 0,3-0,5%.Jenis baja karbon sedang lebih kuat dan dapat dikeraskan, penggunaannya hampir sama dengan baja karbon rendah yaitu pada baja konstruksi mesin, roda gigi, dan rantai. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) memiliki kadar karbon 0,5-1,5%. Jenis baja karbon tinggi memiliki keuletan rendah tetapi tingkat kekuatan dan kekerasannya tinggi, baja ini bnyak digunakan untuk perkakas yang memiliki sifat tahan aus, misalnya untuk mata bor (Amstead, dkk., 1997). Baja karbon menengah dan baja karbon tinggi memiliki kekuatan yang lebih tinggi sehingga memiliki sifat yang sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong (Amanto dan Daryanto, 1999).

Salah satu contoh baja karbon rendah ialah baja St37 (Afandi dkk., 2015). Baja-baja struktural DIN 17100 ditandai dengan kode/nomor seperti St37, St42, St44, dan St50. Penomoran tersebut memiliki makna yang menunjukkan spesifikasi dari baja struktural. Penomoran secara umum bertujuan untuk memudahkan penamaan baja atau material sesuai komposisi, spesifikasi atau sifat baja. Berikut makna dari sturuktual DIN 17100 tipe St37 :

1. St memiliki makna baja (dalam bahasa Jerman : *stahl*; dalam bahasa Inggris : *steel*).

2. 37 memiliki makna kekuatan tarik sebesar 37 kg/mm^2 atau sekitar 360-370 N/ mm^2.
3. Sehingga St menunjukan baja structural, sedangkan dua digit di belakang menunjukkan kekuatan tarik dalam kg/ mm^2. Oleh karna itu dapat disimpulkan bahwa St37 Merupakan baja struktural dengan kekuatan tarik sebesar 37 kg/ mm^2 (Younggi, 2015).

St37 merupakan baja yang digunakan untuk konstruksi dan industri perpipaan dan diproduksi berdasarkan standar DIN (Jerman). Tabel 2.1 menunjukan hasil analisis *Spark-OES* komposisi baja St37 yang dilakukan di Laboratorium Analisa LIPI – Tanjung bintang pada tahun 2020.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia baja St37

Unsur	**Komposisi (%)**
Karbon (C)	0,0900
Mangan (Mn)	0, 239
Silikon (Si)	0,0273
Fosfor (P)	0,0109
Sulfur (S)	0,0075
Tembaga (Cu)	0,0073
Nikel (Ni)	0,0275
Molibden (Mo)	0,0035
Krom (Cr)	0,0129
Zirkonium (Zr)	0,0027
Titanium (Ti)	0,0079
Aluminium (Al)	0,0218
Arsenik (As)	0,0038
Kobalt (Co)	0,0063
Besi (Fe)	99,5

(LIPI Laboratory, 2020).

D. Inhibitor Korosi

Inhibitor korosi adalah senyawa kimia yang apabila ditambahkan dalam jumlah sedikit ke dalam lingkungan dapat mengurangi laju korosi pada logam

(Fontana and Greene, 1986). Bekerja secara khusus, inhibitor korosi merupakan suatu zat kimia yang mana bila ditambahkan ke dalam suatu lingkungan tertentu dan dapat menurunkan laju korosi dari logam terhadap 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.

Berdasarkan bahan dasarnya, inhibitor korosi dibagi menjadi dua yaitu inhibitor dari senyawa organik dan senyawa anorganik (Widharto, 1999).

1. **Inhibitor Organik**

   Inhibitor dari bahan organik membentuk senyawa kompleks yang mengendap pada permukaan logam sebagai lapisan pelindung yang dapat menghambat reaksi logam dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi dapat berupa reaksi anodik, reaksi katodik, atau keduanya bergantung dari reaksi pada permukaan dan potensial logam tersebut. Penggunaan inhibitor organik dengan konsentrasi yang tepat dapat mengoptimalkan perlindungan pada seluruh logam (Roberge, 2000).

2. **Inhibitor Anorganik**

   Inhibitor anorganik merupakan inhibitor yang terbuat dari bahan kimia yang bersifat toksik (Ameer dkk., 2000). Inhibitor anorganik memiliki gugus aktif berupa anion negatif yang bersifat sebagai inhibitor anodik, sehingga mampu mengurangi korosi (Wiston, 2000).

Adapun mekanisme kerjanya dapat dibedakan sebagai berikut (Dalimuthe, 2004):

1. 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.

2. Melalui pengaruh lingkungan (misal pH) menyebabkan inhibitor dapat mengendap dan selanjutnya teradsopsi pada permukaan logam serta melindunginya terhadap korosi. Edapan yang terjadi cukup banyak, sehingga lapisan yang terjadi dapat teramati oleh mata.

3. 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.

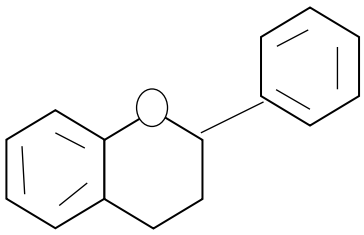
4. Inhibitor menghilangkan kontituen yang agresif dari lingkungannya

E. Tanin

Tanin terdapat dalam tumbuhan pada bagian buah, daun, dan kulit batang. Tanin memiliki sifat yang mampu mengendapkan alkaloid, gelatin dan protein lainnya (Hageman, 2002). Tanin merupakan zat organik yang sangat kompleks, terdiri dari senyawa fenolik dan termasuk kelompok polifenol yang memiliki berat molekul antara 500-3000 g/mol. Tanin terdapat dalam tumbuhan pada bagian buah, daun, dan kulit batang. Tanin dapat meningkatkan pembentukan film diatas permukaan logam sehingga dapat membantu dalam proses inhibisi korosi

(Okafor dkk, 2008). Proses inhibisi dari tanin dikaitkan kepada pembentukan lapisan pasif dari permukaan logam. Tanin memiliki gugus fenolik yang memiliki kemampuan untuk membentuk garam *tanninate* dengan ion *ferric*, proses inhibisi korosi dari tanin dapat disebabkan oleh pembentukan jaringan dari garam *ferric tanninate* yang melindungi permukaan logam (Nahle dkk, 2010). Salah satu jenis tumbuhan yang mengandung tanin adalah daun kakao (*Theobroma cacao*).

Berdasarkan strukturnya, tanin dibedakan menjadi dua kelas yaitu tanin terkondensasi (*condensed tannins*) dan tanin terhidrolisis (*hydrolysabletannins*). Tanin yang terkondensasi merupakan polimer senyawa flavonoid dengan ikatan karbon-karbon, sedangkan tanin yang mudah terhidrolisis merupakan *polimer gallic* atau *ellagic acid* yang berikatan dengan sebuah molekul gula (Manitto, 1992). Struktur umum tanin ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Struktur tanin (Hageman, 2002)

Tanin dapat membentuk senyawa kompleks dengan besi (II) dan besi (III). Senyawa kompleks besi (II)-tanin tidak berwarna dan sangat mudah larut dan teroksidasi. Dengan adanya oksigen, senyawa kompleks ini berubah menjadi senyawa kompleks besi(III)-tanin yang disebut tanat. Senyawa 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 tersebut (Ali dkk, 2014).

F. Daun Kakao (*Theobroma Cacao*)

Banyak penelitian telah dilakukan untuk menemukan senyawa yang sesuai untuk digunakan sebagai penghambat korosi. Penggunaan inhibitor adalah salah satu metode yang paling praktis dan ramah lingkungan untuk melindungi baja ringan dan logam terhadap korosi, terutama dalam larutan asam, untuk mencegah pelarutan logam dan konsumsi asam yang tidak terduga (Yaro dan Khadom, 2008). Ekstrak tumbuhan dipandang sebagai sumber yang sangat kaya akan senyawa kimia yang disintesis secara alami sebagai penghambat korosi dan juga dapat terurai secara hayati. Dalam banyak kasus, efek penghambatan korosi dari beberapa ekstrak tumbuhan ini telah dikaitkan dengan keberadaan tanin dalam konstituen kimianya (Loto, 2003). Karena undang-undang dan peraturan lingkungan tentang penggunaan bahan kimia beracun, dan penghambat berbasis logam berat sedang dibatasi (Touir dkk., 2009).

Hal ini menyebabkan beberapa upaya pada pengembangan inhibitor korosi hijau dari ekstrak tumbuhan (Abiola dkk, 2007). *Theobroma cacao* termasuk dalam famili *stercaliaceae* yang dikenal sebagai pohon kakao. Pengaruh penghambatan ekstrak daun kakao (*Theobroma Cacao*) terhadap korosi baja di air laut dan lingkungan laut pada suhu kamar diteliti oleh (Urnoru dkk., 2006). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak daun kakao merupakan penghambat potensial korosi baja ringan. Senyawa-senyawa yang terdapat pada daun dan kulit buah kakao mengandung tanin, polifenol, flavonoid, alkaloid dan steroid yang merupakan komponen aktif yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Senyawa-senyawa tersebut merupakan antioksidan alami. Tanin juga sangat reaktif terhadap formaldehida dan mampu membentuk produk kondensasi,

berguna untuk bahan perekat termosetting yang tahan air dan panas (Hermawan dkk, 2012). Senyawa tanin juga diketahui dapat menjadi inhibitor dalam proses korosi pada logam.

Karakterisasi daun kakao dapat diamati pada **Tabel 2.1** menunjukkan hasil uji fitokimia adanya kandungan tanin, flavonoid dan saponin. dalam ekstrak daun kakao hasil fitokimia inilah yang menunjukkan kapasitas dari daun kakao dalam menghambat korosi pada baja. .Kandungan tanin, flavanoid dan saponin pada daun kakao ini yang dimanfaatkan sebagai inhibisi korosi baja ringan dalam medium asam agresif (Umoren dkk., 2006).

Tabel 2 1 Analisis fitokimia ekstrak daun kakao

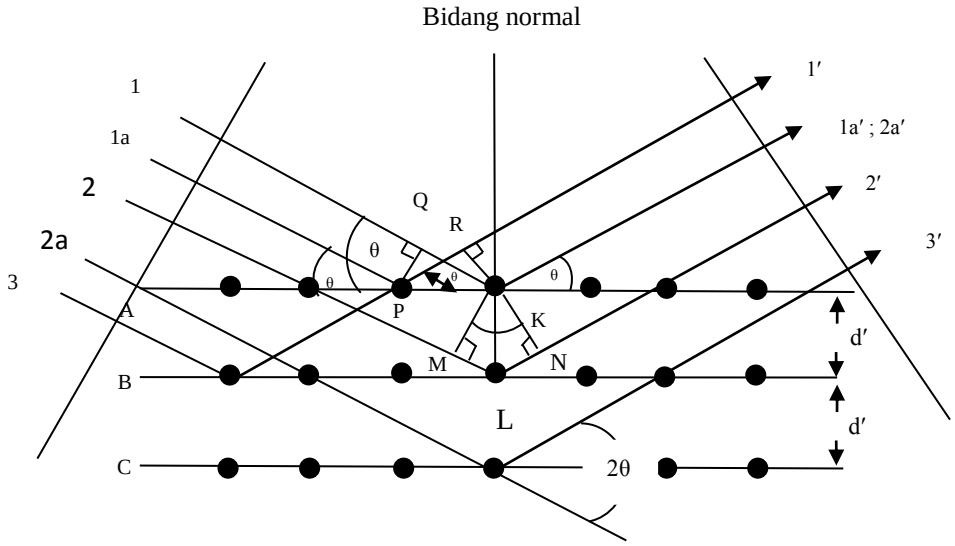
Senyawa kimia	**Indikator**
Alkaloid	+
Terpenoid	-
Phenol	+
Sterols	-
Flavanoid	++
Cardiac glycoside	+
Glycoside	-
Tannin	++
Phytosterol	+
Saponins	++
Anthraquinones	+
Reducing sugar	-
Steroids	-

++ :melimpah; + :Trace; - :tidak ada

G. X-Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh ahli fisika Jerman Wihelm L Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik sama dengan cahaya lainnya, akan tetapi panjang gelombangnya sangat pendek. Satuan pengukuran sinar –X adalah angstrom (Å) yang besarnya sama dengan 10^{-10} m. Biasanya

sinar-X yang dipakai dalam urusan difraksi adalah dalam kisaran (*range*) 0-5 – 2,5 Å. Difraksi sinar –X merupakan proses mengenakan sinar-X jenis karakteristik kesuatu bahan utamanya berbahan kristal yang bertujuan untuk meneliti struktur kristalnya (Manurung, 2019). Skema difraksi sinar-X oleh bahan kristal ditunjukkan seperti pada **Gambar 2.2.**



Gambar 2. 2. Sinar-X yang dihamburkan oleh atom-atom kristal yang berjarak d (Richman, 1967).

Atom-atom yang tersusun searah dan rapi dianggap membentuk satu bidang cermin sehingga bila ada sinar datang kebidang itu akan dibelokkan sesuai. Setelah permukaan atas, dibawahnya terdapat bidang yang sejajar dengan bidang Pertama dan seterusnya. Jarak antar bidang tersebut dibuatlah sama dengan d (Manurung, 2019).

Dari Gambar 2.2 terlihat bahwa gelombang pertama memiliki panjang yang sama yaitu AB+BC, begitu pula dengan gelombang kedua DF + FH. Gelombang kedua berjalan lebih jauh dari gelombang pertama, dan selisihnya adalah:

$$\Delta = (DF + FH) - (AB + BC) \qquad (2.10)$$

Jika dari titik B ditarik garis ke DF dan FH, diberi tanda E dan G, maka :

DE = AB, GH = BC (2.11)

Perbedaan antara dua gelombang tersebut adalah:

$\Delta = EF + FG$ (2.12)

Diketahui bahwa EF+FG merupakan λ (panjang gelombang) dan panjang EF sama dengan panjang FG yaitu sebesar d sin θ, sehingga:

$\lambda = \mathrm{d} \sin \theta$ (2.13)

$\lambda = 2\ \mathrm{d} \sin \theta$ (2.14)

Sinar 1 dan 2 akan menjadi 1 fasa jika beda lintasan sama dengan jumlah n panjang gelombang sehingga:

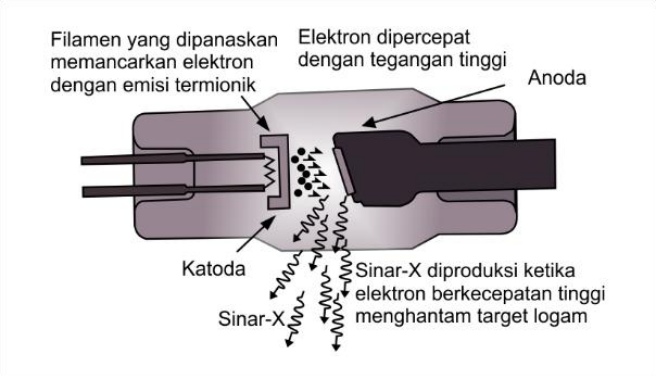
$n\lambda = 2\ \mathrm{d} \sin \theta$ (2.15)

Persamaan inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum Bragg, yang pertama kali ditulis oleh W. L. Bragg, n pada bidang tersebut bernilai 1. Persamaan tersebut dapat diturunkan menjadi:

$\lambda = 2\ \mathrm{d} \sin \theta$ (2.16)

Dengan λ = panjang gelombang (m), d = jarak kisi (m), dan θ = sudut difraksi (Richman, 1967).

Gambar 2.3 menunjukkan skema dari tabung pesawat sinar-X. Di dalam tabung sinar-X ada sumber elektron yaitu filamen, juga disediakan dua elektroda metal yang berguna untuk mengalirkan tegangan tinggi dalam mempercepat elektron dari filamen (katoda) ke target (anoda).



Gambar 2. 3 Skema tabung pesawat Sinar-X

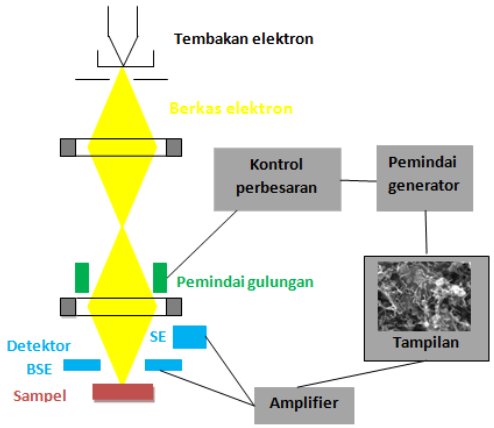
Dari Gambar 2.3, sinar-X yang terpancar selalu isotropik (menyebar kesegala arah dalam jumlah yang sama), sehingga radiasi yang dimanfaatkan hanya sebagian kecil saja. Selain itu jika arus dinaikkan maka anoda akan panas berlebih dan dapat melebur. Oleh karena itu anoda harus dialiri air pendingin selama beroperasi. Anoda dibuat berputar sehingga berkas elektron menumbuk semua permukan target anoda secara seragam (Manurung, 2019).

H. *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) 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 (Cullity, 1978).

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 (Reed, 1993).



Gambar 2. 4 Skema SEM (Reed, 1993)

Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 2.4. Dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu *strike specimen* digunakan untuk menguji dan *strike* yang lain adalah *Cathode Ray Tube* (CRT) 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.

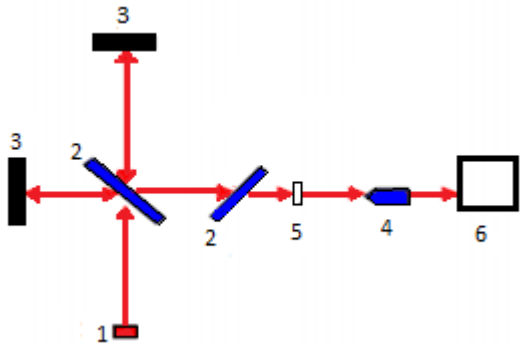
Pancaran elektron energi tinggi dihasilkan oleh *electron gun* yang kedua tipenya berdasar pada pemanfaatan arus. Yang pertama pistol termionik di mana pancaran elektron tercapai dengan pemanasan tungsten atau filamen katode pada suhu 1500 K sampai 3000 K. Katode adalah kutub negatif yang dibutuhkan untuk mempercepat tegangan E_o 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 anode 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 (Chan and Beck, 1993).

SEM dilengkapi dengan EDS 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 (Chan and Beck, 1993).

I. *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Spektroskopi *Fourier Trasform Infra Red* (FTIR) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah *interferometer Michelson* yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalamsinyal gabungan. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentrasmisian cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (µm) atau bilangan gelombang (cm-1) (Marcott, 1986). Skema alat spektroskopi FTIR ditunjukan pada **Gambar 2.5.**



Gambar 2. 5 Skema alat spektroskopi FTIR, (1) Sumber inframerah, (2) Pembagi berkas (*beam spliter*), (3) Kaca pemantul, (4) Sensor inframerah, (5) Sampel, dan (6) Tampilan (Marcott, 1986)

Berdasarkan **Gambar 2.5** mula-mula sinar infra merah dilewatkan melalui monokromator untuk menghilangkan sinar yang tidak diinginkan, kemudian sinar melewati sampel dan dihubungkan pada detektor. Prinsip IR jika suatu benda

dikenakan radiasi elektromagnetik pada daerah infra merah 4000 - 400 cm^{-1}, molekul akan mengabsorbsi energi dan merubahnya menjadi energi fibrasi molekul. Energi yang terserap selanjutnya dikonversi dan diplot dalam bentuk spektrum persentransitan terhadap panjang gelombang.

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2021 sampai April 2021 di Laboratorium Kimia Organik Universitas Lampung, Laboratorium Biomassa Universitas Lampung, Laboratorium Material Fisika Universitas Lampung, Laboratorium Teknik Mesin SMKN 2 Bandar lampung. Laboratorium Glab Bandung..

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia, gelas ukur, labu takar, botol sampel, spatula, pipet tets, corong, alumunium foil, jangka sorong, neraca digital, *rotary vacuum evaporator*, alat pemotong baja, kertas amplas 400, 800, 2000, kertas saring, blender, XRD, SEM, EDS dan FTIR. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun kakao, baja karbon St37, HCl 3%, etanol, 96%, aquades dan aseton.

C. Prosedur Percobaan

Prosedur dalam penelitian ini dibagi menjadi 5 tahap yaitu pembuatan larutan inhibitor daun kakao, preparasi sampel baja, pembuatan larutan medium korosif, pengujian dan karakterisasi.

1. Pembuatan larutan inhibitor dengan daun kakao

Mengeringkan daun kakao sebanyak 2000 gram dalam suhu kamar selama 25 hari untuk menghilangakan kadar air. Daun kakao yang telah kering kemudian dihaluskan dengan blender untuk memudahkan dan memaksimalkan proses ekstraksi. Proses ekstrasi dilakukan dengan metode meserasi yaitu daun kakao dimasukan kedalam botol yang berisi etanol 96% selama 24 jam (Mukhriani, 2014). Hasil meserasi tersebut menggunakan kertas saring hingga diperoleh filtrat. Filtrat dari hasil meserasi akan diuapkan dengan alat penguap putar vakum (*rotary evaporator*) dengan kesepatan 200 rpm pada suhu 50 ℃ sehingga menghasilkan estrak pekat.

2. Preparasi sampel baja

Preparasi sampel baja dilakukan dengan memotong baja St37 sehingga memperoleh ukuran 5 mm x 5 mm x 5 mm sebanyak 15 buah. Setelah ini permukaan baja dibersihkan dan dihaluskan menggunakan kertas amplas 400, 800, dan 2000 grid untuk menghilangkan kotoran dan bekas goresan saat pemotongan. Kemudian baja tersebut dimasukan ke dalam aseton untuk membersihkan kotoran yang menempel pad baja. Baja ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massa awal sebelum pengkorosian.

3. Pemberian Kode Sampel

Kode sampel digunakan untuk memudahkan penyajian dan analisis data. Agar lebih jelas maka kode sampel ditunjukkan pada **Tabel 3.1**

Tabel 3. 1. Pemberian kode sampel baja St37 pada suhu 80℃

Kode Sampel	Perendaman		
	Inhibitor Estrak Daun kakao (%)	HCL (%)	Waktu (jam)
80-0	0	3	3
P 80-0	0	3	3
80-4	4	3	3
P 80-4	4	3	3
80-8	8	3	3
P 80-8	8	3	3

Tabel 3. 2. Pemberian kode sampel baja St37 pada suhu 100℃

Kode Sampel	Perendaman		
	Inhibitor Estrak Daun kakao (%)	HCL (%)	Waktu (jam)
100-0	0	3	3
P 100-0	0	3	3
100-4	4	3	3
P 100-4	4	3	3
100-8	8	3	3
P 100-8	8	3	3

Sebagai standar pabrikan dan pembanding dari inhibitor ekstrak kakao dilakukan juga pengujian pada sampel baja St37 dengan menggunakan air radiaotor sebagai inhibitor pabrikan.

4. Pembentukan Larutan Medium Korosif HCl 3 %

Untuk mendapatkan HCl 3 % akan dilakukan pengenceran HCl 36% dengan penambahan aquades. Langkah awal yang dilakukan pertama yaitu mencari nilai molaritas. Molaritas untuk HCl 36 % sebesar 12,06 M. Setelah itu menentukan

berapa volume HCl 36% yang akan diencerkan menjadi larutan 100 ml. Kemudian pengenceran dilakukan dengan cara memasukkan sebanyak 8 ml HCl 36 % dan dilarutkan dengan aquades sebanyak 92 ml ke dalam gelas kimia.

5. Pengujian

Dalam tahap ini 12 sampel baja direndam inhibitor esktrak daun kakao dengan konsentrasi 0%, 4% dan 8% dalam medium korosif HCl 3% pada suhu 80 ^{o}C dan 100 ^{o}C selama 3 jam. Sedangkan untuk inhibitor pabrikan (air radiator) sampel baja direndam dalam medium korosif HCl 3% pada suhu 80 ^{o}C dan 100 ^{o}C selama 3 jam. Setelah itu sampel yang telah direndam dalam medium korosif dengan inhibitor lalu dibiarkan kering. Selanjutnya ditimbang untuk mengetahui massa akhir sampel. Kemudian dilakukan perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat.

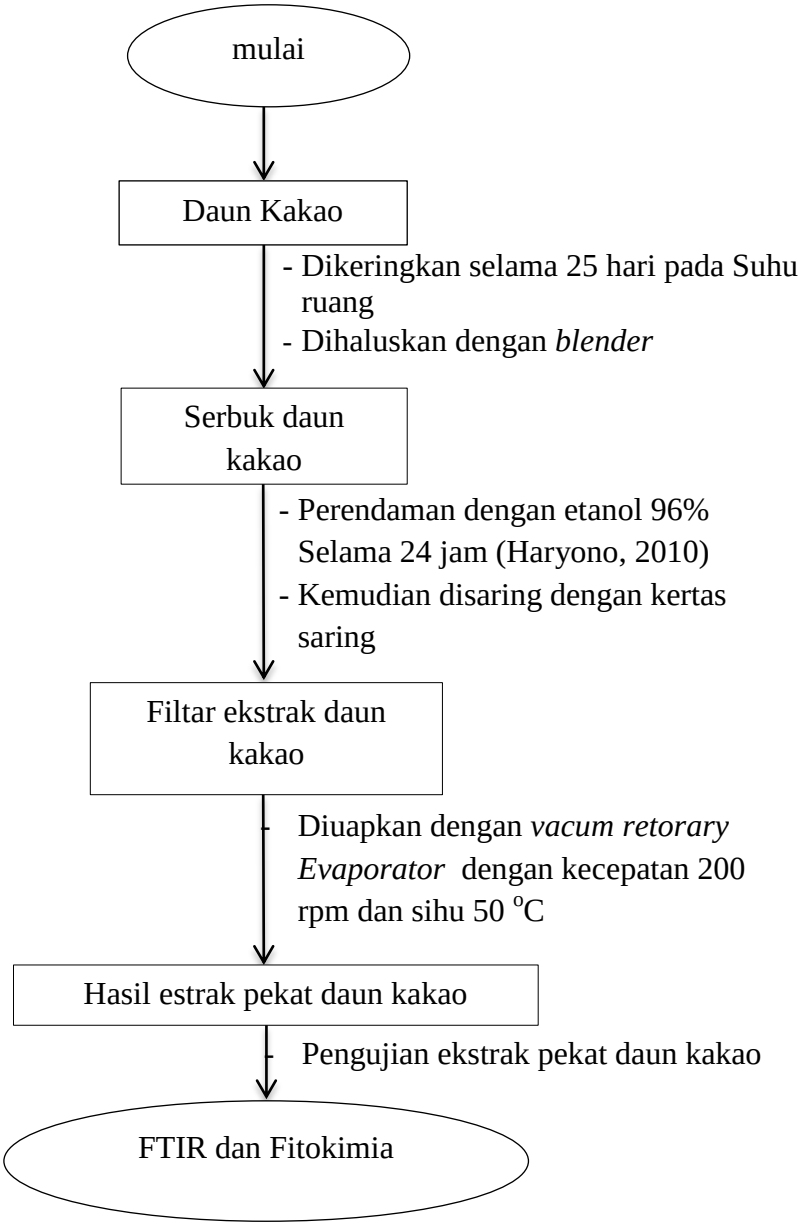
6. Karakterisasi

Pada tahap ini sampel yang telah direndam kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui senyawa penyusun dan gugus fungsi yang terikat pada sampel XRD yang bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel, SEM yang dilengkapi dengan EDS untuk mengetahui struktur permukaan sampel dan melihat unsur-unsur kimia yang ada pada sampel.

D. Diagram Alir

1. Preparasi Pembuatan Ekstrak Daun Kakao

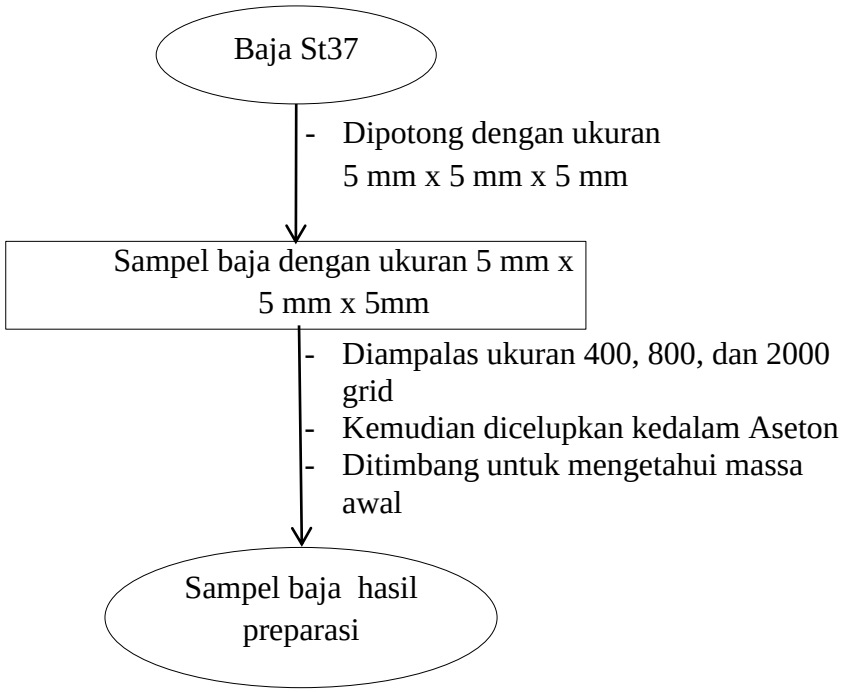
Diagram alir preparasi pembuatan ekstrak daun kakao ditunjukkan pada **Gambar 3. 1.**



Gambar 3. 1. Diagram preparasi pembuatan ekstrak daun kakao

2. Preparasi pembuatan baja

Diagram alir preparasi pembuatan baja ditunjukkan pada **Gambar 3. 2**

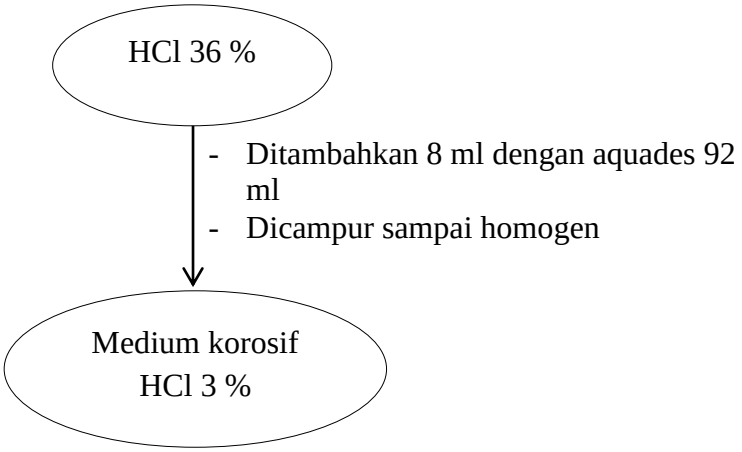


Gambar 3. 2. Diagram preparasi pembuatan baja

3. Preparasi pembuatan larutan medium korosif

Diagram alir dari preparasi pembuatan larutan medium korosif ditunjukkan pada

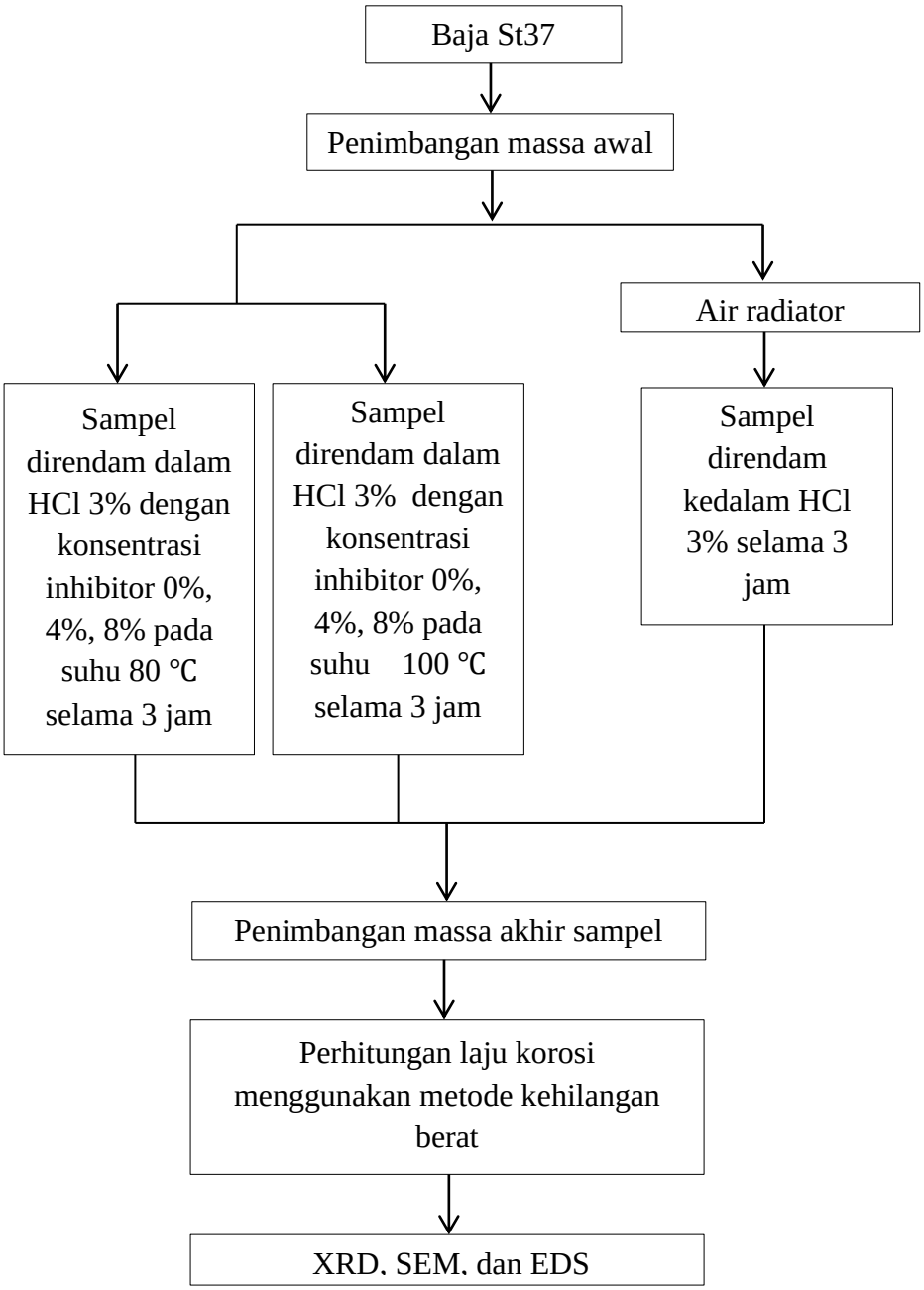
Gambar 3. 3.



Gambar 3. 3. Diagram preparasi pembuatan medium korosif

4. Proses uji korosi bahan

Diagram alir proses uji korosi bahan ditunjukan pada **Gambar 3. 4.**



Gambar 3. 4. Diagram proses uji korosi bahan

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Suhu perendaman sangat berpengaruh terhadap laju korosi yang dihasilkan, dimana semakin tinggi suhu perendaman semakin besar laju korosi pada baja tanpa inhibitor.
2. Efektivitas tertinggi terdapat pada sampel baja St37 dengan waktu perendaman 3 jam pada suhu 100 ^{o}C menggunakan ekstrak inhibitor kakao 8% dengan efisiensi 88,91%.
3. Berdasarkan hasil analisis XRD terdapat puncak yang terbentuk pada sampel tanpa inhibitor yang memiliki fasa Fe murni dan Fe_2O_3. Setelah penambahan inhibitor puncak yang terbentuk berkurang menjadi dengan fasa Fe murni.
4. Berdasarkan hasil analisis SEM dan EDS terbukti bahwa sampel baja telah terkorosi, terlihat bahwa pada hasil analisis EDS jumlah FeO berkurang dan pada hasil analisis SEM permukaan sampel telah mengalami perubahan struktur.
5. Dari ketiga analisis dan perhitungan laju korosi didapatkan bahwa inhibitor ekstrak daun kakao (*Theobroma Cacao*) efektif dalam menginhibisi laju korosi pada baja St37

B. Saran

Saran yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya yaitu:

1. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji ekstrak daun kakao untuk mengetahui lebih lanjut kandungan selain senyawa tanin yang ada pada daun kakao dan mempermudah dalam menganalisa XRD dan SEM EDS .
2. Pada penelitian selanjutnya juga disarankan untuk menggunakan ekstrak yang berbeda, jenis logam yang berbeda dengan menggunakan metode yang sama yakni metode meserasi dan pemanasan pada suhu 100 ^{o}C untuk membandingkan laju korosi dan produk korosi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Abiola,O.K., Ofarka, N.C., Ebeneso, dan Nwinuka, N.M .(2007). Eco-friendly Corrosion Inhibitors. Inhibitive Action of Delonix Regia Extract for the Corrosion of Alluminim in Acidic Medium. *Anti Corrosion Journal*. No. 54 Hal 219 – 224.

Afandi, Y.K., Arief, I.S., dan Amiadji. (2015). Analisa Laju Korosi Pada Pelat Baja Karbon Dengan Variasi Ketebalan Coating. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 4. No. 1.

Aji, M.P., Yulianto, Agus dan Bijaksana, Satria. 2007. Sintesis Nano Partikel Magnetit, Maghemit dan Hematit Dari Bahan Lokal. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol.10. ISSN 1411-1098. Hal 106-108.

Ali, S.D., dan Nugroho, R. F. (2014). Pengaruh Waktu Perendaman Dan Konsentrasi Ekstrak Daun Jambu Biji (Psidium guajava , Linn) Sebagai Inhibitor Terhadap Laju. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 20. No. 1.

Ameer, M. A., Khamis, E., dan Al-Senani, G. 2000. Effect of Thiosemicarbozones on Corrosion of Steel of Phoporic Acid Produced by Wet Process: *Science Technologies*. Vol. 2. Hal 127-138.

Amanto, H., dan Daryanto. 1999. *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara. Hal. 63-87.

Amstead, B. H., Phillip F. O., dan Myron L. B. 1997. *Teknologi Mekanik Jilid I Edisi Ketujuh Versi S1*. Jakarta: Erlangga.

Aidil, E., and A. M. Shams El Din. 1972. Corrosion Inhibition by Naturally Occurringsubstances-I, The Effect of Hibiscus Subdariffa (Karkade) Extract on The Dissolution Of Al and Zn. *Corrosion Science*. Vol. 12. No. 12. Hal 897–904.

Citra, Vidia., Putri. 2019. Analisis Laju Korosi Baja St37 dengan Inhibitor Ekstrak Daun Jambu Biji Dalam Medium Korosif HCl 3% Pada Suhu 80 ^{o}C dan 100 ^{o}C. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal 53-54.

Cullity, B. D. 1978. *Elements of X-Rays Diffraction, Second Edition.* United State of America: Adison-Wesley Publishing Company Inc. Hal. 1-7.

Chan, S. G., and Beck, T. R. 1993. *Electrochemical Tecnology Corp.* United State of America: Seattle Washington. Hal 125-129.

Dalimuthe, I. S. 2004. *Kimia dari Inhibitor Korosi.* Universitas Sumatera Utara. Medan. Hal 45-48.

Fontana, M.G dan M.D. Greene. 1986. *Corrosion Engineering Hand Book*. Mc Graw Hill Book Company. New York. Hal 144-147.

Haryati. 2008. *Potensi dan peluang Tanaman Obat*. Erlangga. Jakarta.

Hermawan, S., Nasution, Y.R.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. Hal 31-33.

Hageman, A. E. 2002. *Tannin Chemistry Handbook*. Oxford: Departement of Chemistry and Biochemistry Miamy University. Hal 116-127.

Haryono, G., Sugiarto, B., Farid, H., dan Tanoto, Y. 2010. *Ekstrak Bahan sebagai Inhibitor Korosi*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia. Yogyakarta: FTI UPN Veteran. Hal. 1-6.

Huzaupah, Ratna. 2019. Efektivitas Ekstrak Kulit Semangka Sebagai Inhibitor Korosi *Stainless Steel* 304 Dalam Medium Korosif HCl 3 %. (*Skripsi*). Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal. 50-51.

Ituen, E., Akaranta, O., James, A., dan Sun, S. 2017. Green and Sustainable Local Biomaterials for Oil Field Chemicals: Griffonia simplicifolia extract as steel corrosion inhibitor in hydrochloric acid. *Jurnal SM & T*. No. 11. Hal 12-18 .

Ilim, B. 2008. *Study Penggunaan Ekstrak Buah Lada, Buah Pinang dan Daun Teh sebagai Inhibitor Korosi Baja Lunak dalam Air Laut Buatan yang Jenuh Gas CO2*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi II. Bandar Lampung: Universitas Lampung. Hal. 257-256.

Irianty, S. R., dan Khairat. 2013. Ekstrak Daun Pepaya sebagai Inhibitor Korosi pada Baja AISI 4140 dalam Medium Air Laut. *Jurnal Teknologi*. Vol. 4. No. 48. Hal. 77-82.

Jones, D.A.1991. *Principle and Prevention of Corrosion*. Mc. Millan Publishing Company. New York. Hal. 12-17.

Ji, G., Shukla, S.K., Dwivedi, P., dan Sundaram, S., Prakash. 2011. *Inhibitive Effect of Argemone Mexicana Plant Extract on Acid Corrosion of Mild Steel*. Ind. Eng. Chem. Res. Vol. 50. No.21. Hal 954 – 959.

Kharisma, P., dan Zainuri. 2012. Pengaruh Perlakuan Panas Pada Anoda Karbon Alumunium Galvanum Terhadap Laju Korosi Pelat Baja Karbon Astm A380 Grad C. *Jurnal Sains dan Seni ITS.* Vol.1. No. 1. Hal. 47-51.

Knofel, Dietbert. 1978. *Corrosion Of Building Material* . United States. Van Nostrand Reinhold Company Chamberlain.

Loto, CA. (2003). The Effect of Bitter Leaf Extract on the Inhibition of Mild Steel in HCl and H2SO4. *Corrosion Prevention Control*. Vol.50. No 1. Hal. 43-49.

Li, L., Zhang, X., Lei, J., He, J., Zhang, S., & Pan, F. 2012. Adsorption and Corrosion Inhibition of Osmanthus Fragran Leaves Extract on Carbon Steel. *Jurnal Corrosion*. No. 63. Hal. 82-90.

Marcott, C. 1986. *Material Characterization Hand Book Infrared Spectroscopy*. USA: ASM International. Vol. 1.

Manitto, P. 1992. *Biosintesis Produk Alami*. Semarang: IKIP Semarang Press. Hal. 597.

Nahle. A. 2010. *UAE Neem Extract as a Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in HCL Solution.* Hibdawi Publishing Corporation

Ostovari, A., Hoseinieh, S.M., Peikari, M., Shadizadeh, S.R., dan Hashemi, S.J.2009. *Corrosion inhibition of mild steel in 1M HCl solution by henna extract.* A comparative study of the inhibition by henna and its constituents (lawsone, gallic acid, a-D-glucose and tannic acid).

Okafor., P. C. 2008. Inhibitory Action of Phyllanthus amarus Extract On The Corrosion of Mild Steel in Acidic Media. *Corrosion Science*. Vol.50. Hal 2310-2317.

Putri, A. M., Rochani, I., dan Supomo, H. 2012. Studi Laju Korosi dan *Surface* Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending. *Jurnal Teknik ITS*. Vol.1.

Rieger, H. P. 1992. *Electrochemistry, Second Edition*. New York: Chapman and Hall Inc. Hal. 412-421.

Reed, S. J. B. 2005. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Florida: Cambridge University Press. Hal. 23-24.

Roberge, Pierre R. 2000. Handbook of Corrosion Engineering. New York. McGraw-Hill. Hal 754

Sanjaya, Ramon. 2018. Evektifitas Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L*) Sebagai Inhibitor Pada Baja St37 Dalam Medium Korosif NaCl 3%

Dengan Variasi Waktu Perendaman.(*Skripsi*).Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hal. 63-64.

Sidiq, M. Fajar. 2013. Analisa Korosi dan Pengendaliannya. *Jurnal Foundry* . Vol. 3. No. 1 ISSN : 2087-2259.

Singh, A., Ebenso, E.E., dan Quraishi, M.A. 2012. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in HCl Solution by some plant extracts. *International Journal of Corrosion.* Hal : 120 .

Sudiarti, Tety., Andriyani, Nia, dan Asep Supriadin. 2018. Potensi Estrak kulit Buah Manggis sebagai Inhibitor Korosi Baja Karbon Dalam Larutan NaCl 1% Jenuh Karbon Dioksida. *Jurnal Al-Kimiya.* Vol. 5. No.2. Hal 78-83.

Touir, R., Dkhireche, N., EbnTouhami, M., Lakhrissi, dan B., Sfaira, M. 2009. Corrosion and scale processes and their inhibition in simulated cooling water systems by monosaccharides derivatives Part I. EIS study. *Desalination*. Vol. 3. No.249. Hal. 922 – 928.

Trethewey, K. R., and Chamberlain, J. 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasa.* Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama. Hal. 27-34.

Umoru, LE., Fawehinmi dan IA., Fasasi, AY. 2006. Investigation of the Inhibitive Influence of Theobroma Cacao and Cola Acuminata Leaves Extracts on the Corrosion of a Mild Steel in Sea Water. *Journal of Applied Sciences Research*. Vol. 2. No. 4. Hal. 200 – 204 .

Uhlig. H.M., 2000, Uhlig`s *Corrosion Handbook,* Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.

Wiston, R. 2000. *Uhlig's Corrosion Handbook Edition 2*nd. New York. John Willey and Sons. Inc.1091.

Wiryosumarto, H. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Erlangga. Hal. 84-87.

Widharto, S. 1999. *Karat dan Pencegahannya*. Pradnya Paramita. Jakarta. Hal 192.

Yaro, A. S., and Khadom, A. A. (2008). Evaluation of the performance of some chemical inhibitors on corrosion inhibition of copper in acid media. *Journal of Engineering*. Vol.2. No.14. Hal 2350 – 2362

Yetri, Yuli., Emriadi., Jamarun, Novesar., dan Gunarwan. 2014. Corrosion Inhibition Efficiency of Mild Steel in Hydrocloric Acid by Adding Theobroma Cacao Peel Extract. *International Conference on Biological, Chemical and Environmental Science*. Malaysia. Vol. 27 No.3. Hal 785-789.

Yetri, Y., Silva.A.M., dan Dahyunir .2019. Sintesa Lapisan Nikel (Ni) Pada Permukaan Baja Dengan Metode Elektrodeposisi Dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Kulit Buah Kakao (Theobroma Cacao). *Jurnal Integrasi Universitas Andalas*. Vol. 11. No.2. Hal 37-49.

Younggi, Dionisius. 2015. *Penomoran Baja Stuktural Menurut DIN 17100*. http://teknikmesin manufaktur.blogspot.com. Diunduh pada tanggal 2 Desember 2020 Pukul 07.24 WIB.