

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI SILIKA
DARI ABU CANGKANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) SEBAGAI
INHIBITOR KOROSI PADA BAJA KARBON ST-37**

PUTRI RANTI ASHILAH

H031191065



**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI SILIKA
DARI ABU CANGKANG KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) SEBAGAI
INHIBITOR KOROSI PADA BAJA KARBON ST-37**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana sains*

Oleh :

PUTRI RANTI ASHILAH

H031191065



MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**EKSTRAKSI DAN KARAKTERISASI SILIKA DARI ABU CANGKANG
KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis*) SEBAGAI INHIBITOR KOROSI
PADA BAJA KARBON ST-37**

Disusun dan diajukan oleh:

**PUTRI RANTI ASHILAH
H031191065**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Kimia Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
pada tanggal **18 Juli 2023**
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

Dr. Yusafir Hala, M.Si
NIP. 19580510 198810 1 001

Pembimbing Pertama

Dr. St. Fauziah, M.Si
NIP. 19720202 199903 2 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Ranti Ashilah
NIM : H031191065
Program Studi : Kimia
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Ekstraksi dan Karakterisasi Silika dari Abu Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon St-37” adalah benar karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila di kemudian hari Skripsi saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 18 Juli 2023

Yang Menyatakan



Putri Ranti Ashilah

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu wa ta'ala* atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul "**Ekstraksi dan Karakterisasi Silika dari Abu Cangkang Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) Sebagai Inhibitor Korosi Pada Baja Karbon St-37**". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan, Universitas Hasanuddin.

Ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing, Bapak **Dr. Yusafir Hala, M.Si** selaku dosen pembimbing utama dan Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** selaku dosen pembimbing pertama yang dengan sabar memberikan motivasi dan arahan mulai dari awal penyusunan proposal penelitian hingga sekarang. Serta kepada Bapak **Prof. Dr. Abdul Wahid Wahab, M.Sc** dan Ibu **Dr. Seniwati Dali, M.Si** selaku tim dosen penguji yang telah memberikan banyak ilmu dan masukan selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Dalam proses penulisan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada ibu **dr. Mardiana M.Kes., Sp.GK** dan Ayah **Ir. Harris Lukman** yang selalu memberikan motivasi, doa serta kasih sayang yang tiada habisnya dalam perjalanan penulis sampai saat ini. Juga seluruh keluarga besar atas dukungannya yang senantiasa mengiringi langkah penulis. Ucapan terimakasih juga kepada:

1. Ketua dan Sekretaris Departemen Kimia Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan Ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, S.Si., M.Si** dan seluruh dosen, serta staf dan

pegawai atas bimbingan dan bantuan dalam proses perkuliahan maupun dalam penyelesaian laporan hasil penelitian ini.

2. Kepala Laboratorium Kimia Anorganik Ibu **Dr. Indah Raya, M.Si** yang telah memberikan izin pemakaian Laboratorium sebagai tempat melakukan penelitian, dan analis Laboratorium Kimia Anorganik Ibu **Haslinda S.Si., M.K.M** yang dengan sepenuh hati selalu melayani peminjaman alat dan membantu pelaksanaan penelitian.
3. Seluruh jajaran direksi **Yayasan Baitul Maal BRILiaN**, Supervisor YBM BRILiaN RO Makassar Kak **Maulidyana Ummul Khair**, dan Mentor tercinta Kak **Riska Kherani** serta Kak **Viyani Annisa Permatasari** yang dengan sepenuh hati selalu memberikan dukungan moril, moral, motivasi dan ilmu yang berlimpah selama proses perkuliahan penulis.
4. Teman penelitian, **Izzatin Rumaisha Zahra** yang selalu kebersamai dalam segala hal dari awal hingga sampai di tahap ini bersama.
5. Sahabat-sahabat “Tugas Kelar” **Sulfa, Firna, Tira** dan **Rahmi** yang senantiasa kebersamai selama masa perkuliahan serta tidak henti-hentinya saling menyemangati sampai saat ini.
6. Teman-teman sesama peneliti AYH Squad, **Qalby, Suhaera** dan **Vingky** serta anggota **AnorGlow 2019** yang juga selalu kebersamai dan bersama menjadi penghuni Laboratorium Kimia Anorganik dan ruangan Kak Linda.
7. Teman-teman **KONF19URASI**, **Pengurus HMK 2021/2022**, dan seluruh **Kimia 2019** yang selalu menemani mulai dari maba hingga sekarang.
8. Kakak-kakak se-**KMK FMIPA Unhas** terkhusus **Kak Julyana** yang telah membantu penulis dalam kelancaran pengambilan sampel penelitian serta **Kak**

Ishar dan **Kak Hira** yang senantiasa membagi ilmu ketika penulis mengerjakan penelitian.

9. **Bright Scholarship UNHAS Batch 5** tersayang, **Rahmi, Zahra, Bash, Ulfa, Cia, Hema, Nila, Fhildzha, Valen, Nurul dan Maun** yang selama 2 tahun berasrama selalu berjalan bersama hingga sampai pada titiknya masing-masing.
10. Teman-teman **EVIROFACTONE**, terkhusus **Fadia Safira Ramadani** dan **Qur'annisa Pamriasky, Annisa Damayanti Syarif** yang selalu sabar mendengar segala keluh kesah, memberikan saran, motivasi dan semangat dari awal hingga akhir penelitian.
11. Semua pihak yang tidak sempat tertulis namanya yang telah memberikan dukungan maupun bantuan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka penulis sangat menghargai bila ada kritik dan saran demi penyempurnaan isi tugas akhir ini. Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi diri penulis pribadi, pembaca, maupun bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Terima kasih.

Makassar, 18 Juni 2022

Penulis

ABSTRAK

Korosi pada baja karbon terjadi karena adanya reaksi kimia antara logam dengan zat yang berada di sekitarnya. Korosi dapat dihambat menggunakan inhibitor korosi dari silikat. Ekstrak abu cangkang kelapa sawit berupa silika dapat digunakan sebagai inhibitor korosi pada baja karbon St-37 dengan waktu perendaman 4, 8, dan 12 hari dalam media akuades, air laut, dan asam asetat 25%. Variasi konsentrasi inhibitor yang diaplikasikan pada baja adalah 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm dan sebagai perekat resin-hardener (RH) pada masing-masing media. Pengujian laju korosi ditentukan dengan menggunakan metode kehilangan berat (*weight loss*) dan untuk melihat efektivitas inhibisi digunakan RH sebagai kontrol. Peningkatan laju korosi ditentukan dengan besarnya kehilangan berat pada sampel. Karakterisasi hasil silikat dilakukan dengan FTIR dan XRF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen silikat yang diperoleh adalah 76,99%. Bilangan gelombang hasil FTIR yakni $3466,08\text{ cm}^{-1}$ dan $2318,44\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya gugus silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) serta menunjukkan terdapat senyawa silikat yang diharapkan dan kadar silika berdasarkan hasil XRF sebesar 98,01%. Konsentrasi 30 ppm merupakan konsentrasi inhibitor optimum yang diperoleh pada media perendaman akuades dan air laut. Konsentrasi 20 ppm merupakan konsentrasi inhibitor optimum yang diperoleh pada setiap media perendaman asam asetat 25%. Tingkat efisiensi inhibisi terbesar diperoleh dalam media akuades sebesar 93,43% pada konsentrasi inhibitor 30 ppm dengan waktu perendaman 12 hari. Karakterisasi SEM pada baja karbon St-37 setelah perlakuan menunjukkan baja karbon tanpa inhibisi menunjukkan permukaan terkorosi lebih banyak dibandingkan baja karbon dengan inhibisi.

Kata kunci: Cangkang, Inhibitor, Sawit, Silikat, St-37

ABSTRACT

Corrosion in carbon steel occurs due to a chemical reaction between the metal and the substances around it. Corrosion can be inhibited using a corrosion inhibitor from silicate. Shell ash oil palm extract in the form of silica can be used as a corrosion inhibitor on St-37 carbon steel with immersion times of 4, 8, and 12 days in aquadest, seawater and 25% acetic acid media. The variation of inhibitor concentration applied to steel was 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm and as an adhesive resin-hardener (RH) in each variation. The corrosion rate test was determined using the weight loss method and to know effectiveness inhibition is used RH as a control. The increase in the corrosion rate is determined by the amount of weight loss in the sample. Characterization of silicate was carried out using FTIR and XRF. The results showed that the silicate obtained was 76,99% yield. Based on wave number of FTIR were $3466,08\text{ cm}^{-1}$ and $2318,44\text{ cm}^{-1}$ indicated by the presence of silanol (Si-OH) and siloxane (Si-O-Si) that showed a desired silicate compound and XRF analysis results obtained silicate content of 98,01%. Concentration 30 ppm is the optimum inhibitor concentration obtained in aquadest and seawater medium. Concentration 20 ppm is the optimum inhibitor concentration obtained in 25% acetate acid medium. The highest level of inhibition efficiency was obtained in aquadest as much as 93,43% at a concentration of 30 ppm inhibitor with an immersion time of 12 days. Characterization of St-37 carbon steel after inhibition was carried out using SEM. The result showed that a carbon steel surface with no inhibition is more corroded than carbon steel with inhibition.

key word: Inhibitor, Oil Palm, Shell, Silicate, St-37

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Maksud dan Tujuan penelitian.....	5
1.3.1 Maksud Penelitian.....	5
1.3.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Korosi Pada Baja Karbon.....	7
2.2 Inhibitor Korosi.....	11
2.3 Profil Tanaman Kelapa Sawit.....	15
2.3.1 Cangkang Kelapa Sawit.....	18
2.3.2 Silika dari Abu Cangkang Kelapa Sawit.....	20

2.4 Karakterisasi.....	21
2.4.1 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	21
2.4.2 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF).....	22
2.4.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Bahan Penelitian.....	25
3.2 Alat Penelitian.....	25
3.3 Tempat dan Waktu Pengambilan sampel Serta Penelitian.....	25
3.3.1 Tempat dan Waktu Pengambilan Sampel.....	25
3.3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.4 Prosedur Penelitian.....	26
3.4.1 Preparasi Sampel Cangkang Kelapa Sawit (Pausa dkk., 2015, Karimullah, dkk 2018, dan Wimarsela dkk., 2021).....	26
3.4.2 Ekstraksi Silika dari Abu Cangkang Kelapa Sawit (Wimarsela dkk., 2021 dan Fatriansyah dkk., 2018).....	26
3.4.3 Karakterisasi Silika Menggunakan FTIR (Kristianingrum, 2016).....	27
3.4.4 Analisis Silika Menggunakan XRF (Sari dkk., 2014).....	27
3.4.5 Pembuatan Larutan Inhibitor (Awizar dkk., 2013).....	28
3.4.6 Penentuan Laju Korosi (Awizar dkk., 2013).....	28
3.4.7 Analisis Permukaan Baja Karbon St-37 Menggunakan SEM (Julinawati dkk., 2015).....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Preparasi Sampel Cangkang Kelapa Sawit.....	30
4.2 Ekstraksi Silika dari Abu Cangkang Kelapa Sawit.....	30

4.3 Karakterisasi Silika Menggunakan FTIR.....	34
4.4 Karakterisasi Silika Menggunakan XRF.....	37
4.5 Laju Reaksi Korosi.....	37
4.5.1 Laju Reaksi Korosi Media Air Laut.....	37
4.5.2 Laju Reaksi Korosi Media Akuades.....	41
4.5.3 Laju Reaksi Korosi Media Asam Asetat.....	43
4.6 Efisiensi Inhibisi.....	46
4.7 Analisis <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) Pada Permukaan Baja Karbon ST-37.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	52
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
1. Luas area kelapa sawit berdasarkan provinsi di Indonesia tahun 2021.....	18
2. Kandungan senyawa kimia abu cangkang kelapa sawit.....	20
3. Hasil interpretasi data spektrum FTIR dari ACKS.....	36
4 Hasil analisis ekstrak silika dari ACKS menggunakan XRF.....	37
5. Efisiensi inhibisi tertinggi dan terendah dalam media air laut.....	46
6. Efisiensi inhibisi tertinggi dan terendah dalam media akuades.....	47
7. Efisiensi inhibisi tertinggi dan terendah dalam media asam asetat.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Proses pembentukan karat.....	9
2. Mekanisme inhibitor anodik.....	13
3. Perbedaan korosi pada baja karbon dalam media air laut (a) tanpa inhibitor dan (b) dengan inhibitor.....	15
4. Pohon kelapa sawit.....	15
5. Buah kelapa sawit.....	17
6. Cangkang kelapa sawit.....	19
7. Hasil preparasi sampel.....	30
8. Penyaringan setelah penambahan NaOH.....	31
9. Mekanisme reaksi pembentukan natrium silikat.....	32
10. Mekanisme reaksi sintesis polimer silika.....	33
11. Hasil setelah penambahan HCl.....	33
12. Silika hasil ekstraksi.....	34
13. Spektrum FTIR abu cangkang kelapa sawit.....	35
14. Grafik laju reaksi korosi dalam media air laut.....	38
15. Plat Baja Karbon St-37 dalam media air laut (a) tanpa inhibisi (b) inhibisi konsentrasi inhibitor 30 ppm.....	39
16. Reaksi silikat pada baja.....	40
17. Grafik laju reaksi korosi dalam media akuades.....	41
18. Plat Baja Karbon St-37 dalam media akuades (a) tanpa inhibisi (b) inhibisi konsentrasi inhibitor 30 ppm.....	42
19. Grafik laju reaksi korosi dalam media asam asetat.....	44

20.	Plat baja karbon St-37 dalam media asam asetat (a) tanpa inhibisi (b) inhibisi konsentrasi inhibitor 30 ppm.....	45
21.	Grafik efisiensi inhibisi.....	48
22.	Topografi permukaan baja karbon St-37 perbesaran 200x dalam media akuades tanpa inhibisi.....	50
23.	Topografi permukaan baja karbon St-37 perbesaran 200x dalam media akuades inhibisi konsentrasi inhibitor 30 ppm.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	halaman
1. Diagram Alir Penelitian.....	61
2. Bagan Kerja Penelitian.....	62
3. Tabel Data Hasil Penelitian.....	69
4. Perhitungan Pembuatan Larutan.....	72
5. Perhitungan Data Penelitian.....	74
6. Data Hasil Penelitian.....	80
7. Peta Pengambilan Sampel.....	84
8. Dokumentasi Penelitian.....	85

DAFTAR ARTI SIMBOL DAN SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Arti
ACKS	Abu Cangkang Kelapa Sawit
CPO	<i>Crude Palm Oil</i>
Dirjen	Direktorat Jenderal
FTIR	<i>Fourier Transform Infra Red</i>
PBN	Perkebunan Besar Negara
PBS	Perkebunan Besar Swasta
PR	Perkebunan Rakyat
RH	Resin Hardener
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
St-37	St yaitu Steel sedangkan 37 berarti menunjukkan batas minimum untuk kekuatan tarik 37 kN/mm^2
TEOS	Tetraetil orto silikat
TMOS	Tetrametil orto silikat
XRF	<i>X-ray Fluorescence</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja karbon saat ini banyak digunakan sebagai komponen utama dalam bangunan, alat-alat pabrik, dan transportasi. Baja karbon banyak digunakan pada industri di Indonesia karena harganya yang relatif murah serta memiliki kekuatan dan keuletan yang baik. Namun, baja karbon memiliki kekurangan yaitu rentan terhadap korosi (Heakal dan Elkholy, 2017; Ramlah, dkk., 2020). Baja karbon biasanya dibuat dalam bentuk plat, baja strip, dan baja batang atau progil. Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku untuk komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, badan mobil, dan lain-lain karena memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah (Subyantoro dkk., 2019). Masalah umum penggunaan baja dalam berbagai macam aplikasi di industri adalah ketika baja mengalami kontak dengan lingkungan yang berair, terutama pada media (larutan) yang bersifat asam. Korosi merupakan degradasi alami bahan logam (paduan logam) yang dapat mengakibatkan kerugian yang besar dalam sistem industri proses maupun manufaktur serta ekonomi karena memerlukan biaya yang relatif tinggi (Verma dkk., 2017). Korosi terjadi sebagai akibat adanya reaksi elektrokimia antara logam dengan lingkungannya yang mengakibatkan mutu logam mengalami penurunan seperti mudah rapuh, mudah hancur dan permukaan kasar (Utomo, 2015).

Lingkungan yang bersifat korosif yaitu lingkungan yang tinggi kadar asam dan garamnya. Indonesia merupakan negara yang memiliki lingkungan korosif dengan tingkat yang tinggi karena beriklim tropis dan curah hujan tinggi yang

mengandung kadar klorida (Fitria, 2016). Faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu konsentrasi inhibitor, suhu dan waktu pemaparan. Semakin besar nilai konsentrasi inhibitor maka laju korosi semakin menurun dan nilai efisiensi inhibisinya semakin tinggi (Taqwa dkk., 2021).

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk memperlambat laju korosi antara lain dengan pelapisan permukaan baja agar terpisah dari medium korosif, membuat paduan logam yang cocok sehingga tahan korosi, dan dengan penambahan zat tertentu yang berfungsi sebagai inhibitor korosi (Haryono dkk., 2010). Penambahan Inhibitor menjadi salah satu cara yang dikembangkan untuk memperlambat korosi karena biaya yang diperlukan relatif murah dan mudah dilakukan (Utomo, 2015). Inhibitor terbagi atas dua macam, yaitu inhibitor sintesis dan inhibitor alami. Pada aplikasi industri, umumnya digunakan inhibitor sintesis yang bersifat beracun dan tidak ramah lingkungan, serta harga beli dan biaya preparasi yang mahal (Akbar, 2019). Oleh sebab itu, perlu adanya pengembangan suatu inhibitor korosi yang ramah lingkungan sebagai alternatif lain.

Inhibitor korosi menggunakan bahan alami dengan memanfaatkan kandungan silikat seperti natrium silikat karena sifatnya yang ekonomis, ramah lingkungan dan tingkat efisiensi yang tinggi selain itu natrium silikat juga membantu pembentukan pelapisan pada material logam untuk menghambat terjadinya perkaratan (Adziimaa dkk., 2013). Silika umumnya didapati dalam bentuk polikrsital atau amorf yang terdiri atas globula-globula SiO_4 tetrahedral yang tidak teratur dan beragregat membentuk kerangka tiga dimensi (Meriatna dkk., 2015). Salah satu kelebihan silika yang lainnya yaitu, silika memiliki sifat sangat inert, hidrofilik, mempunyai kestabilan termal dan mekanik yang tinggi. (Sulastri dan Kristianingrum, 2010). Salah satu cara untuk memperoleh silika dari bahan

alam adalah dengan menggunakan metode ekstraksi. Kondisi yang dapat mempengaruhi keberhasilan ekstraksi meliputi suhu, waktu ekstraksi, konsentrasi pelarut, dan pengadukan (Trinasari, dkk., 2017).

Silika dari bahan alam dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah bahan alam seperti pada daun bambu (Amirullah dkk., 2015), ampas tebu (Amin dkk., 2016, Ishar, 2021), rumput gajah (Matchi dkk., 2016, Jihad, 2022), alang-alang (Kow dkk., 2014), sekam padi (Sapitri, 2020), jerami padi (Rindiani, 2022), tongkol jagung (Hirawati, 2022) dan cangkang kelapa sawit (Pausa dkk., 2015). Cangkang kelapa sawit diketahui banyak mengandung silika (SiO_2). Menurut Pausa (2015), kandungan silika pada pengabuan cangkang kelapa sawit pada suhu 1.100 °C menghasilkan silika sebesar 81,28%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hirawati (2022) tentang ekstraksi dan karakterisasi silika dari abu tongkol jagung (*Zea mays L.*) sebagai material inhibitor korosi baja karbon St-37. Ekstraksi silika dari abu cangkang kelapa sawit menggunakan metode alkali. Hasilnya diperoleh efisiensi inhibisi sebesar 89,67% dalam media akuades selama 12 hari perendaman.

Kelapa sawit merupakan komoditas minyak di dunia. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian RI (2021), perkembangan kelapa sawit di Indonesia bahwa 26 provinsi dari 34 provinsi di Indonesia berhasil mengembangkan perkebunan kelapa sawit. Pengolahan buah kelapa sawit menjadi ekstrak minyak sawit yang banyak digunakan di Indonesia ternyata menghasilkan limbah padat yang sangat banyak. Limbah padat tersebut berupa serat, cangkang, dan tandan buah kosong. Cangkang kelapa sawit merupakan limbah dari pengolahan minyak sawit yang cukup besar, yakni mencapai 60% dari produksi minyak (Donda dkk., 2019; Meisrilestari dkk., 2013).

Upaya pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit telah banyak dilakukan seperti membuat arang aktif untuk adsorpsi minyak goreng bekas (Donda dkk., 2019), campuran bahan bakar diesel (Nugroho, 2019), briket arang sebagai bahan bakar alternatif (Arbi dan Irsad, 2018), bio-oil yang berpotensi menjadi bahan bakar (Simanungkalit dan Mansur, 2020), dan lain-lain. Pemanfaatan limbah cangkang kelapa sawit menjadi inhibitor korosi sebagai upaya mengatasi permasalahan korosi pada baja karbon belum pernah dilakukan.

Berdasarkan pemaparan sebelumnya maka dilakukan penelitian ekstraksi dan karakterisasi silika dari abu cangkang kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) sebagai inhibitor korosi pada baja karbon St-37.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. apakah silika dapat diekstraksi dari abu cangkang kelapa sawit dan berapa rendemennya?
2. bagaimana karakteristik natrium silikat yang diperoleh dari ekstraksi abu cangkang kelapa sawit?
3. bagaimana pengaruh inhibitor natrium silikat dengan beberapa variasi konsentrasi terhadap laju korosi pada baja karbon St-37 dalam beberapa media perendaman?
4. berapa efisiensi inhibitor natrium silikat terhadap laju korosi pada baja karbon St-37?
5. bagaimana topografi permukaan dari baja karbon St-37 akibat korosi yang terbentuk setelah direndam dalam beberapa variasi konsentrasi inhibitor natrium silikat?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini mengekstraksi silika yang terkandung pada abu cangkang kelapa sawit sebagai bahan inhibitor korosi pada baja karbon St-37 dan mengkarakterisasi korosi yang terbentuk pada baja karbon setelah ditambahkan inhibitor dari natrium silikat.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. mengekstraksi silika dari abu cangkang kelapa sawit dan menghitung rendemen silika yang diperoleh.
2. mengkarakterisasi natrium silikat hasil ekstraksi dari abu cangkang kelapa sawit.
3. membuat larutan inhibitor natrium silikat dan menganalisis pengaruhnya dengan beberapa variasi konsentrasi terhadap laju korosi pada baja karbon St-37 dalam media perendaman
4. menentukan efisiensi inhibitor natrium silikat terhadap laju korosi pada baja karbon St-37.
5. menentukan topografi permukaan dari baja karbon St-37 akibat korosi yang terbentuk setelah perendaman dalam beberapa media dengan beberapa variasi konsentrasi inhibitor natrium silikat.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut :

1. memberikan informasi tentang pengolahan limbah cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor korosi pada baja karbon dengan cara ekstraksi.

2. memberikan informasi mengenai pengaruh variasi konsentrasi inhibitor natrium silikat hasil ekstraksi dari abu cangkang kelapa sawit pada baja karbon St-37.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Korosi Pada Baja Karbon

Baja karbon merupakan logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai tingkatannya. Karbon digunakan sebagai unsur penguat dalam baja dengan cara mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Sifat baja karbon biasa ditentukan oleh persentase karbon dan mikrostruktur (Arifin dkk., 2017). Berdasarkan tingkatan banyaknya paduan karbon dalam baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu sebagai berikut: (Jordi dkk., 2017 dan Gunawan dkk., 2017)

a. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)

Baja karbon rendah adalah baja yang memiliki kandungan karbon berkisar 0,1% hingga 0,3%. Pada kehidupan sehari-hari, baja jenis ini dapat ditemukan dalam bentuk pelat, batangan untuk keperluan tempa, pekerjaan mesin, dan lain-lain.

b. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang adalah baja yang memiliki kandungan karbon berkisar 0,3% hingga 0,6%. Pada kehidupan sehari-hari, baja jenis ini dapat ditemukan pada alat-alat perkakas dan pada rangkaian bagian mesin seperti industri kendaraan, roda gigi, pegas, dan sebagainya.

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja karbon tinggi adalah baja yang memiliki kandungan karbon berkisar 0,6% hingga 1,7%. Pada kehidupan sehari-hari, baja jenis ini banyak

digunakan untuk *material tools*. Baja jenis ini umumnya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi atau mengalami panas, seperti landasan, bor, bantalan peluru, dan sebagainya.

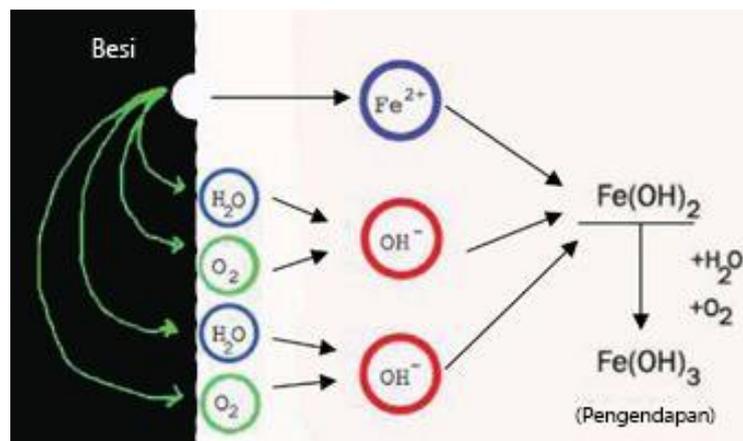
Baja karbon St-37 merupakan salah satu klasifikasi baja yang ditentukan berdasarkan nilai kekuatan tarik baja. Baja karbon rendah (St-37) memiliki kadar karbon rendah, dengan nilai 0,06% sehingga mempunyai sifat kuat, mudah dibentuk, dan dapat dilakukan pengerjaan dalam keadaan panas maupun pengerjaan dingin. Arti dari St merupakan singkatan dari *Steel* (baja) dan 37 mengartikan batas minimum untuk kekuatan tarik 37 kN/mm². Jenis baja karbon St-37 digunakan untuk keperluan pembuatan komponen mesin yang distandarkan menurut kekuatan tarik mempunyai kekuatan tarik 37-45 kN/mm² (Insani, 2019; Nofri, 2019). Baja karbon St-37 merupakan material baja yang banyak digunakan dalam industri konstruksi, otomotif, permesinan, dan penerbangan (Taskaya dkk., 2019).

Korosi atau pengkaratan merupakan fenomena kimia pada bahan paduan logam dengan macam-macam kondisi lingkungan. Penelitian elektrokimia telah banyak membantu menjelaskan tentang peristiwa korosi, reaksi kimia antara logam dengan zat-zat yang berada di sekitarnya atau dengan partikel lain yang ada di dalam logam itu sendiri. Korosi pada dasarnya merupakan kontak langsung dengan lingkungan berair dan oksigen dengan permukaan logam. Peristiwa korosi pada komponen peralatan rumah tangga dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar pada faktor ekonomi. Korosi dapat menyebabkan terjadinya gangguan hubungan pendek yang mengarah pada kecelakaan kecil hingga sangat merugikan. Sama halnya dengan besi untuk pagar rumah, kantor dan lain-lain tidak dapat terbebas dari permasalahan korosi. Jembatan yang terbuat dari baja

maupun badan mobil, motor dan peralatan lainnya dapat menjadi rapuh karena peristiwa alam yang biasa disebut korosi. Selain pada logam ukuran yang besar, ternyata korosi mampu menyerang logam pada komponen renik peralatan, mulai dari jam digital yang sering kita gunakan hingga komputer yang memiliki pelindung sekalipun, serta peralatan canggih lainnya yang sering digunakan dalam berbagai aktivitas sehari-hari, baik dalam kegiatan rumah tangga, kantor, maupun industri (Widodo dan Laila, 2017).

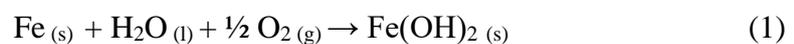
Korosi pada umumnya diartikan sebagai penurunan dari suatu mutu logam yang terjadi akibat adanya reaksi elektrokimia dari logam dengan lingkungannya. Apabila digambarkan korosi sebagai sel galvanik yang memiliki “arus pendek” yang mana beberapa daerah permukaan logam bertindak sebagai katoda dan lainnya sebagai anoda, serta dilengkapi dengan rangkaian elektron yang menuju ke logam itu sendiri dapat dilihat pada gambit ilustrasi dibawah ini (Haryono dkk., 2010).

Ilustrasi proses pembentukan karat dapat kita lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembentukan karat

Mekanisme pembentukan karat yang terjadi pada logam dalam hal ini logam besi (Fe) dapat ditulis sebagai berikut :





Menurut Vogel (1979), fero hidroksida yang terjadi pada reaksi Persamaan (1) merupakan hasil sementara dari oksidasi secara alami yang dialami besi oleh udara dan air yang kemudian berubah menjadi feri hidroksida lalu terbentuklah warna merah kecoklatan, yang biasa disebut dengan karat, yang menandakan adanya senyawa Fe_2O_3 hasil dari Persamaan (3).

Menurut Sidiq (2013), korosi dapat dicegah dengan usaha-usaha berikut:

1. Perubahan Media/ Lingkungan Kerja

Pengubahan media sekitar logam dapat mencegah terjadinya korosi karena interaksi antara logam dan media sekitarnya menurun.

2. Seleksi Material

Seleksi material yakni dengan memilih logam atau paduan dalam suatu lingkungan korosif untuk mengurangi resiko terjadinya korosi.

3. Proteksi Katodik

Proteksi katodik berupa perlindungan korosi dengan menghubungkan logam yang memiliki potensial lebih tinggi ke struktur logam yang lainnya sehingga terbentuk sel elektrokimia dengan logam berpotensi rendah.

4. Proteksi Anodik

Proteksi anodik dengan cara menciptakan arus anodik yang akan meningkatkan laju ketidak-larutan logam dan menurunkan laju pembentukan hidrogen. Proteksi anodik bisa terjadi pada logam "*active-passive*" seperti Ni, Fe, Cr, Ti, dan paduannya. Apabila arus yang melewati logam dikontrol

dengan seksama maka logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam-logam tak terlarut akan berkurang.

5. Pelapisan

Pelapisan merupakan metode umum yang biasa dilakukan dengan cara melapisi logam induk dengan suatu material pelindung.

6. Inhibitor Korosi

Penggunaan inhibitor korosi bekerja dengan cara menambahkan zat inhibitor dalam suatu lingkungan sehingga menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan terhadap suatu logam.

2.2 Inhibitor Korosi

Penggunaan inhibitor korosi merupakan cara efektif untuk meminimalkan efek degradasi material. Fungsi dari inhibitor untuk memperlambat reaksi korosi pada logam dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam. Inhibitor juga digunakan untuk melindungi bagian dalam struktur dari korosi yang disebabkan oleh cairan yang mengalir atau tersimpan di dalam logam. Biasanya, inhibitor ditambahkan sedikit dalam lingkungan keadaan asam, air pendingin, uap, dan lingkungan lainnya. Keuntungan dari penggunaan inhibitor adalah memperpanjang usia material berbahan logam, mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh korosi, melindungi produk dari kontaminasi, dan lain sebagainya (Nugroho, 2015).

Menurut Sari dkk (2021), inhibitor korosi terbagi atas beberapa kategori, yaitu:

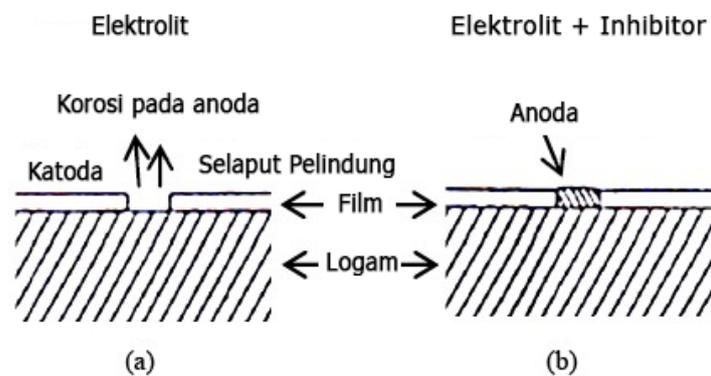
1. inhibitor anodik, mekanisme yang digunakan inhibitor anodik dengan membentuk lapisan pasif dari reaksi ion-ion logam yang terkorosi yang

nantinya akan menutupi permukaan logam (anoda) kemudian lapisan ini akan mencegah pelarutan anoda selanjutnya. Contoh senyawa dari inhibitor anodik yang biasa digunakan yaitu kromat, nitrit, nitrat, molibdat, silikat, fosfat, dan borat.

2. inhibitor katodik, mekanisme dari inhibitor katodik yaitu bereaksi dengan OH untuk menghalangi masuknya oksigen pada permukaan logam dengan mengendapkan senyawa-senyawa yang tidak larut pada permukaan logam. Contoh senyawa dari inhibitor katodik antara lain Zn, CaCO_3 , dan polifosfat.
3. inhibitor campuran, bekerja dengan cara menghambat proses pada katodik dan anodik secara bersamaan. Contoh senyawa dari inhibitor campuran yaitu silikat, molibdat, dan fosfat.
4. inhibitor teradsorpsi, bekerja dengan cara mengisolasi permukaan logam dari lingkungan korosif dengan cara membentuk film tipis yang akan teradsorpsi pada permukaan logam. Pada umumnya, inhibitor teradsorpsi merupakan senyawa organik seperti tannin.

Apabila baja dicelupkan ke dalam air akan terlihat bagian baja yang mengalami korosi. Bagian baja yang mengalami korosi disebut anodik dan bagian bagian baja yang tidak mengalami korosi disebut katodik. Beberapa inhibitor menghambat korosi dengan cara adsorpsi dengan membentuk lapisan tipis yang tidak kasat mata dengan ketebalan beberapa molekul, ada pula karena pengaruh lingkungan sehingga membentuk endapan yang nampak dan melindungi baja dari serangan yang menyebabkan korosi. Ada pula inhibitor yang bekerja dengan membentuk lapisan pasif, serta dengan menghilangkan konstituen yang agresif (Nugroho, 2015).

Menurut Trethewey dan Chamberlain (1988), mekanisme inhibitor anodik dalam mempertahankan lapisan pasif dapat dilihat pada Gambar 2. Pada bagian (a) terlihat korosi terjadi pada logam yang terkelupas. Selaput pelindung kemudian akan bertindak sebagai katoda, sedangkan logam yang tersingkap bertindak sebagai anoda. Selanjutnya anion dalam inhibitor anodik akan bereaksi dengan ion logam dan menutup bagian yang bersifat anodik. Oleh karena itu, laju korosi menjadi terhenti seperti terlihat pada Gambar 2 (b).

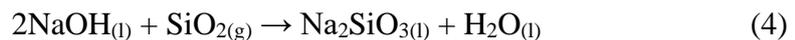


Gambar 2. Mekanisme inhibitor anodik (Trethewey dan Chamberlain, 1988)

Secara umum, inhibitor korosi merupakan zat kimia yang bila ditambahkan ke dalam lingkungan dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam. Menurut Zheng (2020), jenis inhibitor anorganik yang banyak digunakan adalah natrium silikat karena memiliki sifat daya hambat korosi yang baik. Inhibitor korosi dari natrium silikat bekerja dengan membentuk lapisan pelindung dari ion silikat yang kemudian akan mencegah serangan dari ion alkali. Natrium silikat merupakan jenis senyawa kimia yang sering digunakan sebagai inhibitor korosi karena memiliki sifat yang ramah lingkungan, tingkat efisiensi tinggi dan ekonomis. Pembuatan natrium silikat juga dikatakan tidak rumit karena terbuat dari campuran natrium hidroksida dengan senyawa silika. Pada umumnya

larutan natrium silikat yang digunakan mempunyai komposisi 8,76% Na⁺ dan 28,38% SiO₂ dan selebihnya pengotor-pengotor, diantaranya besi dan aluminium (Dananjaya dkk., 2016; Adziimaa dkk., 2013).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Haspiadi dan Kurniawaty (2015) dengan mensintesis silika dengan cara memutus ikatan kimia menggunakan larutan alkali, misalnya NaOH dan KOH yang dilanjutkan dengan pengikatan silika dari limbah kaca berwarna. Metode tersebut dikenal dengan sebutan metode alkali. Dalam proses ekstraksi silika ini, ada tiga tahapan. Pertama, preparasi natrium silikat (Na₂SiO₃) dari pasir yang mengandung silika dengan menggunakan NaOH. Selama proses alkali fusion terjadi reaksi Persamaan (4):



Dari reaksi diatas, terbentuk natrium silikat yang mudah larut dalam air. Maka dari itu, larutan natrium silikat didapatkan dengan mencampurkan air. Tahapan kedua adalah melakukan preparasi *silicic acid*, Si(OH)₄. Pada tahapan ini, larutan natrium silikat direaksikan dengan asam kuat HCl hingga terbentuk endapan. Reaksi yang terjadi:

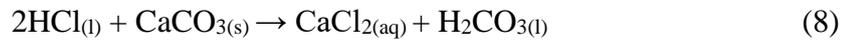
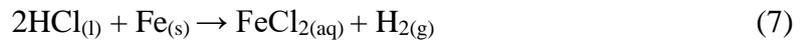


Karena Si(OH)₄ tidak bisa larut dalam asam kuat seperti HCl, HNO₃ dan H₂SO₄, maka endapan Si(OH)₄ dapat dipisahkan dari larutannya (yang diperoleh dari reaksi Persamaan (5)). Tahap ketiga adalah preparasi polimer SiO₂ dengan menggunakan Si(OH)₄. Pada tahapan ini terjadi reaksi seperti Persamaan (6):

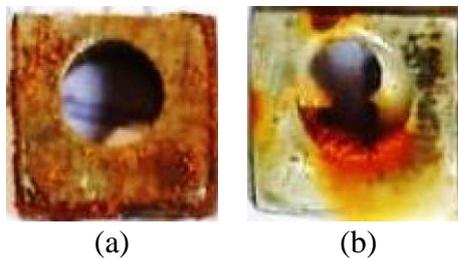


Menurut Shoodiqin (2014), pencucian Si(OH)₄ menggunakan larutan HCl mampu menghilangkan zat pengotor selain SiO₂ sehingga menyisakan fasa tunggal

SiO₂ *quartz*. Reaksi yang terjadi ketika pencucian dengan HCl terdapat pada reaksi persamaan (7) dan (8).



Contoh perbandingan sampel baja karbon dengan penggunaan inhibitor korosi dan tanpa penggunaan inhibitor korosi pada perendaman media air laut dapat dilihat pada Gambar 3 (Hirawati, 2022).



Gambar 3. Perbedaan korosi pada baja karbon dalam media air laut (a) tanpa inhibitor dan (b) dengan inhibitor (Hirawati, 2022)

2.3 Profil Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan komoditas minyak dunia dengan produktivitas lahan yang paling baik dibandingkan minyak nabati lainnya. Sehingga kelapa sawit menjadi pilihan paling *sustainable* dalam memenuhi kebutuhan minyak nabati dunia yang semakin bertumbuh. Bentuk fisik dari pohon kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 4 (Dirjen Perkebunan Kementan RI, 2020).



Gambar 4. Pohon kelapa sawit (Dirjen Perkebunan Kementan RI, 2020)

Berdasarkan Gambar 4. Menunjukkan ciri-ciri fisiologi dari pohon kelapa sawit seperti daunnya merupakan daun majemuk, berwarna hijau tua dan pelepah sedikit lebih muda. Batangnya diselimuti bekas pelepah hingga umur 12 tahun dan setelah 12 tahun pelepah akan mengering dan terlepas. Akarnya serabut yang mengarah ke bawah dan samping. Bunganya terdiri dari bunga jantan dan bunga betina, Bunga jantan memiliki bentuk lancip dan panjang sementara bunga betina terlihat lebih besar dan mekar. Buahnya memiliki warna yang bervariasi dari hitam, ungu, hingga merah tergantung dari bibit yang digunakan. Buahnya bergerombol dalam tandan yang muncul pada tiap pelepahnya (Sekretariat Jenderal Perindustrian, 2007).

Menurut Pahan (2012), kelapa sawit memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Divisi : Embryophyta Siphonogama
Kelas : Angiospermae
Ordo : Monocotyledonae
Famili : Arecaceae
Subfamili : Cocoideae
Genus : *Elaeis*
Spesies : *Elaeis guineensis* Jacq.

Berdasarkan Gambar 5. Diketahui bagian-bagian dari buah kelapa sawit seperti pembungkus daging sawit (inti sawit/endosperm) terdiri dari 3 lapisan yakni eksokarp (bagian kulit buah berwarna kemerahan dan licin), mesokarp (serabut buah), dan endokarp (cangkang pelindung inti), dapat dilihat pada Gambar 5 (Sekretariat Jenderal Perindustrian, 2007).



Gambar 5. Buah kelapa sawit (Sekretariat Jenderal Perindustrian, 2007)

Menurut Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian RI (2021), pada tahun 2021 tercatat bahwa pulau Sumatera memiliki luas lahan perkebunan kelapa sawit terbesar hingga mencapai 8.220.708 hektar dengan jumlah produksi mencapai 28.592.674 ton disusul oleh pulau Kalimantan dengan luasan sebesar 6.118.975 hektar dan jumlah produksi mencapai 19.414.116 ton. Sebagian besar kelapa sawit di Indonesia diusahakan oleh perusahaan besar swasta (PBS) yaitu sebesar 54,94% atau seluas 7.942.335 hektar, perkebunan rakyat (PR) sebesar 40,7% atau seluas 5.896755 hektar, dan perusahaan besar negara (PBN) sebesar 4,27% atau 617.501 hektar. Luas area kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1 (Dirjen Perkebunan Kementan RI, 2021).

Berdasarkan sisi volume, ekspor selama tahun 2015 sampai tahun 2019 cenderung mengalami peningkatan. Namun pada 2020, volume ekspor minyak sawit mengalami penurunan akibat Covid-19 (Wardianingsih dan Wibowo, 2022). Produk ekspor kelapa sawit terbagi dalam dua kelompok besar, yaitu CPO (*Crude Palm Oil*) pada sisi hulu, dan produk turunannya pada sisi hilir. Tahun 2010, ekspor produk hulu masih dominan terhadap produk hilir dengan komposisi 60:40, tahun 2018 komposisi ini berubah menjadi 19:81% (BPPT, 2019).

Tabel 1. Luas area kelapa sawit berdasarkan provinsi di Indonesia tahun 2021

No	Pulau	Jumlah	
		Luas (Ha)	Produksi (Ton)
1	Sumatera	8.220.708	28.592.674
2	Jawa	33.260	62.019
3	Kalimantan	6.118.975	19.414.116
4	Sulawesi	477.421	937.532
5	Maluku dan Papua	230.657	704.003

Sumber : Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian RI (2021)

Negara tujuan ekspor CPO Indonesia terbesar, yaitu India, dengan volume ekspor 4,39 juta ton atau 61,23% dari total volume ekspor CPO Indonesia dengan nilai USD 2,87 miliar. Peningkatan nilai dan volume ekspor CPO ke pasar dunia akan memberikan dampak positif bagi perekonomian nasional (Wardianingsih dan Wibowo, 2022). Produksi minyak sawit menghasilkan berbagai macam limbah padat, limbah cair dan limbah gas. Limbah padat terdiri dari tandan kosong, pelepah, serat dan cangkang. Pengolahan 1 ton tandan buah segar kelapa sawit dapat menghasilkan limbah sebanyak 23% tandan kosong kelapa sawit, 6,5% limbah cangkang kelapa sawit, 4% lumpur sawit, 13% serabut dan 50% limbah cair. Berdasarkan data limbah padat yang dihasilkan dapat diperkirakan limbah padat dari sebuah pabrik kelapa sawit yang berkapasitas 50 ton per jam, yakni 23.250 ton per hari. Besarnya jumlah limbah tersebut akan menimbulkan permasalahan lingkungan bagi industry yang akhirnya akan mengurangi daya saing dan produktivitas industri sawit di Indonesia (Mandiri, 2012).

2.3.1 Cangkang Kelapa Sawit

Pengolahan buah kelapa sawit menjadi ekstrak minyak sawit yang banyak digunakan di Indonesia ternyata menghasilkan limbah padat yang sangat banyak

berupa serat, cangkang, dan tandan buah kosong. Cangkang kelapa sawit, dapat kita lihat pada Gambar 6, merupakan limbah dari pengolahan minyak sawit yang cukup besar. Limbah cangkang kelapa sawit diketahui mencapai 60% dari produksi minyak sawit. Cangkang kelapa sawit memiliki banyak kegunaan serta manfaat bagi industri usaha dan rumah tangga (Donda dkk., 2019, Meisrilestari dkk., 2013).

Pada saat ini ada banyak upaya industri untuk memanfaatkan limbah padat hasil pengolahan minyak sawit ini, yaitu dengan mengolah cangkang kelapa sawit sebagai arang aktif untuk adsorpsi minyak goreng bekas (Donda dkk., 2019), campuran bahan bakar diesel (Nugroho, 2019), briket arang sebagai bahan bakar alternatif (Arbi dan Irsad, 2018), bio-oil yang berpotensi menjadi bahan bakar (Simanungkalit, dan Mansur, 2020), dan lain-lain.



Gambar 6. Cangkang kelapa sawit (Herman dan Rolly, 2018)

Abu cangkang sawit merupakan hasil sampingan dari pembakaran cangkang kelapa sawit. Abu ini biasanya dibuang dekat pabrik pengolah kelapa sawit sebagai limbah padat dan tidak dimanfaatkan (Herman dan Rolly, 2018). Berdasarkan pengamatan secara visual, abu cangkang kelapa sawit memiliki berbagai karakteristik diantaranya, bentuk partikel abu-abu tidak beraturan, ada yang memiliki butiran bulat panjang dan persegi dengan ukuran butiran 0 - 2,3 mm serta warna abu-abu kehitaman (Endriani dan Ramahdana, 2019). Kandungan

senyawa kimia seperti silika, kalium, dan juga natrium juga terdapat dalam abu cangkang kelapa sawit, dapat kita lihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan senyawa kimia abu cangkang kelapa sawit

Komposisi Kimia	Kadar (%)
Silika (SiO ₂)	67,40
Aluminium Karbonat (Al ₂ O ₃)	10,01
Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	0,01
Kalsium Oksida (CaO)	1,54
Magnesium Oksida (MgO)	3,02

Sumber: Endriani dan Ramahdana (2019)

2.3.2 Silika dari Abu Cangkang Kelapa Sawit

Silika merupakan senyawa yang tersusun dari rantai satuan SiO₄ tetrahedral dengan rumus umum SiO₂. Silika yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintesis silika ditemukan dalam bentuk *amorph*. Salah satu senyawa sintesis silika yaitu silika gel ditemukan dalam bentuk *amorph*. Silika gel memiliki bentuk padatan yang sering digunakan sebagai adsorben karena adanya situs aktif pada permukaannya sehingga silika gel memiliki sifat adsorptif atau sifat penjerap yang baik. Silika gel berguna untuk menyerap uap air pada penyimpanan bahan-bahan yang memiliki sifat higroskopis. Kekurangan dari silika gel yakni, situs aktif yang dimiliki hanya berupa gugus silanol (-SiOH) dan siloksan (Si-O-Si) yang memiliki sifat keasaman rendah dan juga memiliki oksigen sebagai donor atom yang lemah. Namun demikian, keberadaan kedua gugus ini juga memberikan keuntungan karena memungkinkan terjadinya modifikasi walaupun tidak menyebabkan terjadinya perubahan gugus fungsi pada situs aktif tetapi dapat diperoleh berbagai macam senyawa silika melalui sintesis silika (Sulastri dan Kristianingrum, 2010).

Silika dapat diperoleh dari bahan nabati, mineral, dan melalui sintesis. Silika mineral diperoleh dengan proses penambangan dan sulit untuk didapatkan sehingga perlu metode lain untuk mendapatkan silika seperti silika nabati dan sintesis silika. Sintesis silika dapat melalui bahan *furned* silika TEOS dan TMOS melalui proses pelelehan. Sintesis silika memerlukan proses yang cukup rumit dan biaya yang diperlukan relatif mahal sehingga alternatif yang baik untuk memperoleh silika yakni dengan silika nabati (Ramadhan dkk., 2014).

Ekstraksi silika dari abu cangkang kelapa sawit pada penelitian Zaki dkk., (2017) menggunakan NaOH yang direaksikan dengan abu cangkang kelapa sawit salt silika *amorphous* dapat larut dalam kondisi alkali. Produk yang dihasilkan dari proses ekstraksi berupa larutan natrium silikat dan produk samping berupa padatan yang sebagian besar dari karbon. Setelah dilakukan tahapan pertukaran kation dan presipitasi sol-gel diperoleh kemurnian SiO₂ sebesar 96,129%.

2.4 Karakterisasi

2.4.1 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Setiap molekul dari struktur kimia berbeda akan menghasilkan jejak absorpsi infra-merah atau spektrum infra merah yang berbeda dengan yang lainnya, oleh karena itu spektrum infra-merah dapat digunakan untuk mengidentifikasi molekul-molekul yang terbentuk, sama uniknya seperti sidik jari manusia. Spektrofotometer merupakan suatu alat yang dapat mendeteksi dan membedakan tingkat penyerapan untuk suatu larutan atau campuran suatu bahan kimia. Saat ini, alat pendeteksi penyerapan bahan kimia yang banyak digunakan adalah *Fourier Transform Infrared Spectrometer*. Alat ini mampu menghasilkan jejak sesuai dengan desain optiknya yang selanjutnya kita sebut interferogram. Interferogram

merupakan suatu sinyal kompleks, tetapi didalamnya memuat informasi frekuensi yang dapat dideteksi oleh spektrum infra-merah. Spektrofotometer mampu mendeteksi spektrum-spektrum dari berbagai macam larutan atau campuran mulai 500 cm^{-1} sampai 6000 cm^{-1} (Rahmat dan Suwarno, 2020).

Pada penelitian Hirawati (2022), terbentuk spektrum FTIR silika, yang mana ditunjukkan dengan adanya vibrasi ulur ikatan O-H pada gugus Si-OH (silanol) dengan bilangan gelombang $3444,87\text{ cm}^{-1}$, dan adanya spektrum tekuk ikatan O-H dari gugus Si-OH pada bilangan gelombang $1637,56\text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya terdapat vibrasi Si-OH pada bilangan gelombang $952,84\text{ cm}^{-1}$. Vibrasi ulur asimetri ikatan siloksan (Si-O-Si) pada bilangan gelombang $1097,50\text{ cm}^{-1}$. Vibrasi tekuk kerangka struktur Si-O-Si terdapat pada bilangan gelombang $468,70\text{ cm}^{-1}$.

2.4.2 X-Ray Fluorescence (XRF)

Spektrometer XRF merupakan alat uji yang digunakan untuk menganalisis unsur yang terkandung dalam bahan baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif. Secara kualitatif, Spektrometer XRF memberikan informasi jenis unsur yang terdapat dalam bahan yang dianalisis, ditunjukkan oleh adanya spektrum unsur pada energi sinar-X karakteristiknya. Secara kuantitatif, spektrometer XRF memberikan informasi terkait jumlah atau berapa banyak unsur yang terkandung dalam bahan yang ditandai dengan ketinggian puncak spektrum. Prinsip kerja alat XRF adalah sebagai sinar-X fluoresensi yang dipancarkan oleh sampel merupakan hasil penyinaran sampel dengan sinar-X primer dari tabung sinar-X (*X-Ray Tube*), yang dibangkitkan dengan energi listrik dari sumber tegangan sebesar 1200 volt. Apabila radiasi dari tabung sinar-X mengenai suatu bahan maka elektron dalam bahan tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih rendah, sementara

memancarkan sinar-X karakteristik. Sinar-X karakteristik ini ditangkap oleh detektor diubah ke dalam sinyal tegangan (*voltage*), diperkuat oleh Preamp dan dimasukkan ke analyzer untuk diolah datanya. Energi maksimum sinar-X primer tergantung pada tegangan listrik (kVolt) dan kuat arus (μ Ampere). Fluoresensi sinar-X tersebut dideteksi oleh detektor semikonduktor Silikon Litium (SiLi) (Jamaludin dan Adiantoro, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh Ishar (2021) tentang ekstraksi dan karakterisasi silika dari abu ampas tebu bahwa kadar silika hasil ekstraksi yang diperoleh sebesar 86,02%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hirawati (2022) menyatakan hasil XRF kadar silika pada abu tongkol jagung sebesar 66,93%.

2.4.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Mikroskop elektron pemindai atau *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan instrumen serbaguna yang digunakan untuk pemeriksaan dan analisis morfologi mikrostruktur dan karakteristik komposisi kimia dari bahan yang dianalisis. Prinsip kerja SEM, dengan cara mengalirkan arus pada kawat filamen tersebut dan perlakuan pemanasan sehingga dihasilkan elektron. Elektron tersebut dikumpulkan dengan tegangan tinggi dan berkas elektron difokuskan dengan sederetan lensa elektromagnetik. Ketika berkas elektron mengenai target, informasi dikumpulkan melalui tabung sinar katoda yang mengatur intensitasnya. Setiap jumlah sinar yang dihasilkan dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan jumlah target, jika terkena berkas elektron berenergi tinggi dan menembus permukaan target, elektron kehilangan energi karena terjadi ionisasi atom dari cuplikan padatan. Elektron bebas ini tersebar keluar dari aliran sinar utama sehingga tercipta lebih banyak elektron bebas, dengan demikian energinya habis lalu melepaskan diri

dari target. Elektron ini kemudian dialirkan ke unit demagnifikasi dan dideteksi oleh detektor dan selanjutnya dicatat sebagai suatu foto (Maulid dkk., 2022).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ishar (2021), menjelaskan bahwa hasil uji SEM pada sampel dengan menggunakan perbesaran 100x, 200x, 500x, 1000x, 2000x dan 5000x pada waktu perendaman selama 12 hari menunjukkan bahwa hasil analisis SEM pada baja karbon yang tidak terlapis dengan inhibitor mengalami pengikisan sedangkan yang terlapis inhibitor, korosi yang terbentuk hanya sedikit. Pada penelitian Hirawati (2022), menyatakan hasil uji SEM pada baja karbon setelah waktu perendaman 12 hari dengan perbesaran 200x, 500x, 1000x, dan 2000x menyatakan bahwa morfologi permukaan baja karbon tanpa perlakuan korosi terlihat bahwa adanya perbedaan permukaan dibandingkan dengan baja karbon dengan penambahan inhibitor di mana tidak terlalu terlihat permukaan yang terkorosi, atau mengalami korosi celah karena larutnya elemen yang bersifat anodik dari campuran logam.