

**PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG
SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN
KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO₃)**

(Tesis)

Oleh

**CHYNTIA GUSTIYANDA PATRAINI
2227011012**



**MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)

Oleh

CHYNTIA GUSTIYANDA PATRAINI

Industri minyak dan gas memerlukan inhibitor kerak untuk mengatasi masalah operasional dan ekonomi yang disebabkan oleh pembentukan kerak. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, serta campuran ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit dan dibandingkan dengan asam EDTA sebagai inhibitor pertumbuhan kerak CaCO_3 . Pada penelitian ini digunakan ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, serta campuran ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit dan dibandingkan dengan asam EDTA pada masing-masing larutan 5, 15, 25, 35 dan 45% dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan 0,05; 0,075 dan 0,10 M pada suhu 90°C menggunakan metode *seeded experiment* dan *unseeded experiment*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai persentase efektivitas optimum dari masing-masing sampel diperoleh pada konsentrasi inhibitor 25% dan konsentrasi larutan pertumbuhan 0,05 M menggunakan metode *seeded experiment*. Efektivitas inhibitor ekstrak sabut sawit mencapai 65,24%, asap cair cangkang sawit sebesar 63,11%, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit sebesar 63,19%, dan asam EDTA sebesar 97,77%. Penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh sampel dapat berfungsi sebagai inhibitor yang efektif dalam mengontrol pembentukan kerak CaCO_3 . Hasil analisis PSA menunjukkan bahwa penambahan inhibitor menghasilkan ukuran partikel yang lebih seragam dan kristal yang lebih kecil. Pengamatan SEM mengungkapkan perubahan morfologi kristal menjadi lebih halus dan tidak teratur. Selain itu, analisis XRD mengonfirmasi perubahan fase dari kalsit menjadi aragonit dan vaterit yang lebih lunak dan mudah dibersihkan. Secara keseluruhan, seluruh inhibitor terbukti mampu mengganggu kristalisasi normal kalsit dan menawarkan solusi alternatif untuk mencegah pembentukan kerak dalam aplikasi industri.

Kata Kunci : CaCO_3 , inhibitor kerak, ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit.

ABSTRACT

UTILIZATION OF PALM FIBER EXTRACT, PALM SHELL LIQUID SMOKE, AND THEIR MIXTURE AS INHIBITORS OF CALCIUM CARBONATE (CaCO₃) SCALE FORMATION

By

CHYNTIA GUSTIYANDA PATRAINI

The oil and gas industry requires scale inhibitors to address operational and economic issues caused by scale formation. Therefore, this study utilizes palm fiber extract, palm shell liquid smoke, as well as a mixture of palm fiber extract and palm shell liquid smoke and compares them with EDTA acid as inhibitors of CaCO₃ scale growth. In this study, palm fiber extract, palm shell liquid smoke, and their mixture were compared with EDTA acid at concentrations of 5%, 15%, 25%, 35%, and 45%, with growth solution concentrations of 0.05 M, 0.075 M, and 0.10 M at a temperature of 90°C using both the seeded experiment and unseeded experiment methods. The results showed that the optimum percentage effectiveness for each sample was achieved at an inhibitor concentration of 25% and a growth solution concentration of 0.05 M using the seeded experiment method. The effectiveness of the inhibitors was 65.24% for palm fiber extract, 63.11% for palm shell liquid smoke, 63.19% for the mixture of palm fiber extract and palm shell liquid smoke, and 97.77% for EDTA. This study demonstrates that all samples can function effectively as inhibitors in controlling CaCO₃ scale formation. PSA analysis revealed that adding inhibitors resulted in more uniform particle sizes and smaller crystals. SEM observations indicated changes in crystal morphology to smoother and more irregular forms. Furthermore, XRD analysis confirmed phase transitions from calcite to softer and more easily removable aragonite and vaterite. Overall, all inhibitors proved capable of disrupting normal calcite crystallization and offer alternative solutions for preventing scale formation in industrial applications.

Keywords: CaCO₃, scale inhibitor, palm fiber extract, palm shell liquid smoke.

**PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG
SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN
KERAK KALSIMUM KARBONAT (CaCO₃)**

**Oleh
CHYNTIA GUSTIYANDA PATRAINI**

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Pascasarjana Magister Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

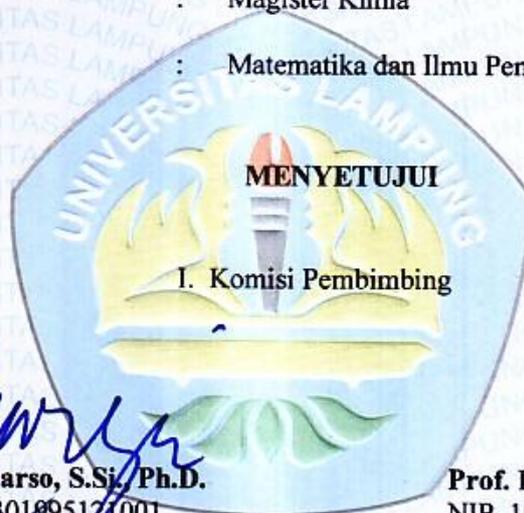
Judul Tesis : **PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO₃)**

Nama Mahasiswa : **Chyntia Gustiyanda Patrini**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2227011012**

Jurusan : **Magister Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



I. Komisi Pembimbing

Prof. Ir. Suharso, S.Si, Ph.D.
NIP. 196906301995121001

Prof. Dr. Buhani, S.Pd., M.Si.
NIP. 196904161994032003

II. Ketua Program Studi Magister Kimia

Dr. Dra. Ilim, M.S.
NIP. 196505251990032002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D.

Sekretaris : Prof. Dr. Buhani, S.Pd., M.Si.

Penguji Bukan Pembimbing

Anggota : Dr.Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

Anggota : Dr. Rinawati, S.Si., M.Si.

Anggota : Prof. Dr. Noviany, M.Si.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr.Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

3. Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 22 November 2024

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Chyntia Gustiyanda Patraini
Nomor Pokok Mahasiswa : 2227011012
Program Studi : Magister Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis saya yang berjudul
"Pemanfaatan Ekstrak Sabut Sawit, Asap Cair Cangkang Sawit, Dan
Campurannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)"
adalah benar karya sendiri dan tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data
dalam tesis ini digunakan dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi
sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 22 November 2024
Menyatakan



Chyntia Gustiyanda Patraini
NPM. 2227011012

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 01 Agustus 1992, anak kedua dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Drs. Apriyanto dan Ibu Dra. Linda Wardhati.

Penulis mengawali Pendidikan formal di SD Al-Kautsar Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2004. Tahun 2004 diterima di SMP Negeri 29 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2007. Pada tahun 2007 diterima SMA Negeri 09 Bandar Lampung yang diselesaikan tahun 2010. Selanjutnya tahun 2010 penulis diterima di Universitas Lampung Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Studi Kimia sehingga memperoleh gelar Sarjana Sains pada tahun 2014.

Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Pascasarjana Magister Kimia Fakultas Matematika Universitas Lampung melalui jalur beasiswa *teaching research*. Penulis saat ini bekerja di Universitas Lampung dan menjabat sebagai Sekretaris Pimpinan sejak tahun 2017.

**Untuk suami, anak-anak, Papa, Mama, Udo, Uta keluarga tercinta, serta
sahabat dan teman yang telah memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan
karena Allah SWT. Semoga Allah mempersatukan kita semua di surga-Nya.**

MOTTO

"Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya." (QS. An-Najm (53): 39)

"Hidup adalah seni menggambar tanpa penghapus." (John W. Gardner)

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pemanfaatan Ekstrak Sabut Sawit, Asap Cair Cangkang Sawit, dan Campurannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Universitas Lampung. Selama proses penyusunan tesis ini, penulis mendapatkan doa, dukungan, semangat, dan motivasi dari berbagai pihak. Dengan rasa hormat dan tulus dari hati yang paling dalam, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D. selaku dosen Pembimbing I, Pembimbing Akademik, Bapak, Pimpinan, serta Mentor di pekerjaan dan selama masa kuliah yang telah meluangkan waktu, pikiran dan tenaga untuk memberi masukan, arahan, dan bimbingan dalam proses penyelesaian tesis ini.
2. Ibu Prof. Dr. Buhani, M. Si., selaku dosen pembimbing II yang telah sabar dalam memberikan bimbingan, motivasi, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si, selaku dosen penguji penelitian serta Dekan FMIPA yang telah memberikan saran dan kritikan dalam penyusunan tesis ini agar menjadi lebih baik lagi.
4. Ibu Dr. Rinawati, M.Si., selaku dosen penguji penelitian yang telah memberikan saran dan kritikan dalam penyusunan tesis ini agar menjadi lebih baik lagi.
5. Ibu Prof. Dr. Noviany, M.Si., selaku dosen penguji penelitian yang telah memberikan saran dan kritikan dalam penyusunan tesis ini agar menjadi lebih baik lagi.
6. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku Ketua Program Studi Magister Kimia FMIPA Universitas Lampung.

7. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas ilmu yang diberikan selama ini.
8. Suami saya Ronal Pratama, A.Md.Kep. yang sudah bersabar, mendampingi serta memberikan motivasi. Anak-anak saya Erchy Lana Madali dan Arunika Calianna Liesel.
9. Papa Drs. Apriyanto, Mama Dra. Linda Wardhati, Udo Andre Febiyanda, S.H., dan Friska Septriyanda Patraini, M.M. terima kasih atas doa dan *support* yang diberikan tanpa henti kepada penulis.
10. Sahabat sepenelitian Rosadinah yang telah banyak memberikan support, bantuan, arahan, wejangan selama penelitian dan diluar penelitian.
11. Sahabat jalan-jalan yang lebih sering gagal jalan dibanding jadi jalan Kartika dan Pinkan terima kasih sudah berpikir bersama, senang-senang bersama, tertawa dan menangis bersama.
12. Rekan seangkatan Magister Kimia tahun 2022, terima kasih atas motivasi, dukungan, dan keceriaan selama ini. Semoga kita semua sukses.
13. Segala pihak yang terlibat dalam penyusunan tesis yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Atas segala kebaikan yang diberikan, semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan kepada kalian semua, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.

Bandar Lampung, 22 November 2024

Chyntia Gustiyanda Patraini

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	4
1.3. Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Pembentukan Senyawa Anorganik	6
2.2. Kerak	7
2.3. Mekanisme Pembentukan Kerak	9
2.4. Kalsium Karbonat	11
2.5. Metode Pencegahan Kerak CaCO ₃	13
2.5.1. Pengendalian pH	13
2.5.2. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air	14
2.5.3. Inhibitor Kerak.....	14
2.6. Tanaman Sawit	17
2.7. Asap Cair Cangkang Sawit (ACS).....	20
2.8. Asam Etilen Diamin Tetra Asetat (EDTA).....	24
2.9. Metode <i>Seeded</i> dan <i>Unseeded Experiment</i>	26
2.10. Analisis dan Karakterisasi Kerak CaCO ₃	26
2.10.1. Spektrofotometer Inframerah	27
2.10.2. <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	28
2.10.3. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	29
2.10.4. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	30

2.10.5. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	32
III. METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2. Bahan dan Alat	34
3.3. Prosedur Penelitian	35
3.3.1. Pembuatan Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit (ES)	35
3.3.2. Pembuatan Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit (ACS)	35
3.3.3. Pembuatan Inhibitor Asam EDTA	36
3.3.4. Pembuatan Inhibitor Campuran ES dan ACS	36
3.3.5. Pembuatan Bibit Kristal	37
3.3.6. Pengujian Inhibitor Dalam Menghambat Laju Pertumbuhan Kristal CaCO ₃	37
3.3.6.1. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor Pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan Yang Berbeda Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	37
3.3.6.2. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO ₃ Dengan Penambahan Berbagai Macam Inhibitor Pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan Yang Berbeda Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	38
3.3.6.3. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor Pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan Yang Berbeda Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	39
3.3.6.4. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO ₃ Dengan Penambahan Berbagai Macam Inhibitor Pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan Yang Berbeda Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	39
3.3.7. Analisis Data	40
3.3.8. Alur Penelitian	41
IV. PEMBAHASAN	42
4.1. Uji Ketahanan Larutan Inhibitor	42
4.2. Analisis ES dan ACS Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah (IR) dan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	43

4.2.1. Karakterisasi Menggunakan Spektrofotometer IR.....	43
4.2.2. Analisis Senyawa Kimia Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	46
4.3. Penentuan Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃	52
4.3.1. Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor ES	52
4.3.2. Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor ACS... ..	55
4.3.3. Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Campuran Inhibitor ES dan ACS.....	60
4.3.4. Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor Asam EDTA	63
4.3.5. Perbandingan Efektivitas Inhibitor Secara Visual	67
4.4. Karakterisasi Distribusi Ukuran Partikel CaCO ₃ Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	69
4.5. Karakterisasi Permukaan Kerak CaCO ₃ Menggunakan <i>Microscopy Scanning Electron</i> (SEM)	71
4.6. Karakterisasi Struktur Kerak CaCO ₃ Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	73
V. SIMPULAN DAN SARAN	76
5.1. Simpulan	76
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Sebaran Tanaman Kelapa Sawit di Provinsi Lampung Tahun 2020.....	18
2. Komponen Kimia Hasil Analisis Pada ACS	29
3. Perbandingan Konsentrasi Campuran ES dan ACS.....	37
4. Gugus Fungsi ES Pada Hasil Analisis <i>Infrared</i> (IR)	44
5. Gugus Fungsi ACS Pada Hasil Analisis <i>Inframerah</i> (IR)	45
6. Komponen-Komponen Kimia ES	48
7. Komponen-Komponen Kimia ACS	51
8. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Inhibitor ES Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	55
9. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Inhibitor ES Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	55
10. Uji Kadar Air dan Nilai Kalor Cangkang Sawit	56
11. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Inhibitor ACS Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	60
12. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Inhibitor ACS Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	60
13. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Campuran Inhibitor ES dan ACS Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	63
14. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Campuran Inhibitor ES dan ACS Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	63
15. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Inhibitor Asam EDTA Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	66

16. Perbandingan Nilai pH dan Efektivitas Inhibitor Asam EDTA Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	66
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Endapan Kerak Pada Pipa	7
2. Nukleasi Homogen	10
3. Nukleasi Heterogen	11
4. Mekanisme Inhibitor Dalam Menghambat Laju Pertumbuhan Kristal Dalam Larutan Pertumbuhan	16
5. Morfologi Buah Sawit.....	19
6. Alur Pengolahan Minyak Sawit.....	20
7. Perbedaan Visual Warna Asap Cair Pada Masing-Masing <i>Grade</i>	22
8. Struktur Asam EDTA	25
9. Analisis IR daei ACS	27
10. Skema Alat GC-MS	28
11. Hasil Analisis GC-MS Pada ACS	29
12. Skema Alat XRD.....	30
13. Pola XRD Dari CaCO ₃	30
14. Skema Alat SEM	31
15. Morfologi CaCO ₃	32
16. Hasil PSA CaCO ₃	33
17. Diagram Alir Penelitian	42
18. Perubahan ES Tanpa Penambahan ACS dan ES dan ACS Setelah Didiamkan Selama 1 Minggu	43
19. Spektrum IR Dari ES	44

20. Spektum IR Dari ACS	45
21. Kromatogram Analisis GC-MS Dari ACS	47
22. Struktur Molekul Asam 3-Metil Salisilat dan 1-3 Propandiol.....	49
23. Kromatogram Analisis GC-MS ACS	50
24. Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor ES 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	53
25. Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor ES 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	54
26. ACS Fasa Minyak Dan Air Serta ACS Hasil Filtrasi	56
27. Laju Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor ACS 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	58
28. Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor ACS 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	59
29. Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Campuran Inhibitor ES dan ACS 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	61
30. Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Campuran Inhibitor ES dan ACS 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	62
31. Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor Asam EDTA 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	64
32. Pertumbuhan Kerak CaCO ₃ Dengan Inhibitor Asam EDTA 0,05M; 0,075 M ; 0,1 M Dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	65
33. Perbandingan Visual Pada ES Dengan Konsentrasi 25% Menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i> Pada Beberapa Variasi Konsentrasi Kerak CaCO ₃ (a) Tanpa Kerak (b) 0,05 M (c) 0,075 M (d) 0,10 M	68
34. Perbandingan Visual Pada ACS Dengan Konsentrasi 25% Menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i> Pada Beberapa Variasi Konsentrasi Kerak CaCO ₃ (a) Tanpa Kerak (b) 0,05M (c) 0,075 M (d) 0,10 M	68
35. Perbandingan Visual Pada Campuran ES Dan ACS Dengan Konsentrasi 25% Menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i> Pada Beberapa Variasi Konsentrasi Kerak CaCO ₃ (a) Tanpa Kerak (b) 0,05 M (c) 0,075 M (d) 0,10 M	68

36. Perbandingan Visual Pada Asam EDTA Dengan Konsentrasi 25% Menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i> Pada Beberapa Variasi Konsentrasi Kerak CaCO ₃ (a) Tanpa Kerak (b) 0,05 m (c) 0,075 M (d) 0,10 M	68
37. Distribusi Ukuran Partikel CaCO ₃	70
38. Morfologi Kerak CaCO ₃ Dengan Perbesaran 10.000x Tanpa Inhibitor, Dengan Inhibitor ES, Dengan Inhibitor ACS dan Inhibitor Campuran ES dan ACS	72
39. Mekanisme Inhibitor Dalam Menghambat Laju Pertumbuhan Kristal CaCO ₃ Dalam Larutan Pertumbuhan	73
40. Grafik XRD Kristal CaCO ₃ Dengan Dan Tanpa Penambahan Inhibitor	75

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri minyak dan gas bumi merupakan sektor ekonomi yang memegang peranan penting dalam perekonomian dunia. Minyak dan gas alam merupakan sumber daya alam yang berharga dan digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia dan sebagai bahan mentah untuk banyak produk. Sejak ditemukannya sumur minyak pertama pada abad ke-19, industri minyak dan gas berkembang pesat. Industri ini melibatkan eksplorasi, produksi, pemurnian, dan distribusi minyak dan gas alam ke berbagai negara di dunia.

Pipa penyalur digunakan dalam industri minyak dan gas bumi untuk mengalirkan minyak mentah, gas alam, dan produk-produk terkait dari sumber produksi ke fasilitas pengolahan atau pemasaran. Pipa penyalur dalam industri ini memiliki peran penting dalam menjaga kelancaran produksi dan distribusi sumber daya energi (Rahman, 2015). Salah satu masalah yang sering terjadi pada pipa industri minyak dan gas bumi adalah mengecilnya diameter pipa yang terjadi karena terbentuknya endapan garam yang menumpuk disepanjang alirannya dan membentuk kerak atau *scale* (Ariyanto, 2013).

Kerak adalah lapisan keras yang terbentuk pada permukaan benda akibat proses oksidasi atau pembakaran. Biasanya, kerak terbentuk ketika bahan-bahan kimia seperti logam atau mineral teroksidasi atau mengalami reaksi dengan unsur lain di udara atau lingkungan sekitarnya. Proses pembentukan kerak sering kali melibatkan penumpukan zat-zat yang membentuk lapisan keras yang menutupi permukaan benda (Skinner *et al.*, 2016). Kerak yang menempel pada dinding pipa menyebabkan ukuran diameter pipa mengecil sehingga menghambat aliran fluida sehingga suhu dan tekanan semakin naik dan dapat membuat pecahnya pipa

(Ariyanto, 2013). Pernyataan tersebut selaras dengan hasil penelitian Suharso *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa kerak yang terbentuk pada pipa-pipa peralatan industri sangat mengganggu dan menghambat proses produksi sehingga menyebabkan inefisiensi waktu dan finansial.

Beberapa macam kerak yang dapat menempel pada pipa industri minyak dan gas adalah kerak kalsium karbonat (Marafi *and* Stanislav, 2019), kerak kalsium sulfat (Furooq *and* Al-Tahini, 2014), kerak besi oksida (Khadom *and* Ali, 2018), kerak asam sulfat (Abdulrazzaq *and* Brink, 2015) dan kerak asfaltena (Yarranton *and* Masliyah (2017). Kerak kalsium karbonat (CaCO_3) adalah deposit mineral yang terbentuk dari kalsium karbonat yang mengendap secara alami. Kalsium karbonat merupakan salah satu endapan penyusun kerak yang menjadi masalah serius pada sebagian besar proses industri yang melibatkan air garam (Tang *et al.*, 2018). Kalsium karbonat merupakan senyawa kimia yang umum ditemukan dalam banyak sumber mineral dan batuan di seluruh dunia. Kalsium karbonat merupakan senyawa kimia yang terdiri dari ion kalsium (Ca^{2+}) dan ion karbonat (CO_3^{2-}). Sifat fisis kalsium karbonat seperti, morfologi, fase, ukuran dan distribusi ukuran harus dimodifikasi menurut bidang pengaplikasiannya. Bentuk morfologi dan fase kalsium karbonat terkait dengan kondisi sintesis seperti, konsentrasi reaktan, suhu, waktu *aging* dan zat adiktif alam (Kirboga *and* Oner, 2013). Kerak kalsium karbonat dapat ditemukan di berbagai lingkungan, termasuk perairan laut, danau, gua-gua, serta dalam sistem pipa dan peralatan industri yang menggunakan air (Wang *et al.*, 2016).

Pembentukan kerak dapat dicegah dengan cara mengendalikan pH dengan menginjeksikan asam seperti asam sulfat atau asam klorida (Suharso dan Buhani, 2012). Pendapat tersebut sesuai dengan hasil penelitian Suharso *et al.* (2013) dimana pembentukan kerak pada peralatan industri dapat dicegah menggunakan beberapa cara seperti menurunkan pH larutan melalui penambahan asam serta penggunaan senyawa-senyawa anorganik. Namun, berdasarkan penelitian J.M.Thomaz *et al.* (2017) penghilangan kerak dengan asam tidak efektif dikarenakan asam memiliki efek yang terbatas pada kerak yang sangat keras,

membutuhkan waktu yang lama untuk melarutkan serta memiliki efek samping yang berbahaya.

Berdasarkan beberapa kelemahan tersebut, maka dikembangkan salah satu metode yang dapat digunakan secara efektif untuk mencegah serta mengontrol masalah kerak yaitu dengan menambahkan inhibitor kerak. Inhibitor kerak, juga dikenal sebagai inhibitor pengendap kerak atau inhibitor pembentukan kerak, merujuk pada zat yang digunakan untuk mencegah atau mengurangi pembentukan kerak pada permukaan atau dalam sistem industri. Inhibitor kerak bekerja dengan beberapa cara untuk mencegah atau mengurangi pembentukan kerak yaitu inhibisi kristalisasi, dispersi koloid, kompleksasi serta penyangga pH (Kim *and* Kim, 2018). Suharso dkk (2015) mengembangkan inhibitor kerak material anorganik sebagai metode yang efektif untuk mengurangi laju pertumbuhan kerak. Prinsip kerja inhibitor kerak pada industri adalah mencegah pembentukan kerak atau mengurangi pertumbuhannya di permukaan logam atau bahan lainnya yang terpapar oleh suhu tinggi, tekanan, atau kondisi kimia tertentu (T.El-Maazawi, *et al.*, 2016). Sousa *and* Bertran (2014) mengemukakan bahwa inhibitor biasanya diinjeksikan ke dalam larutan yang secara kontinu maupun periodik, sehingga mampu mengendalikan proses *nucleation*, pertumbuhan kristal yang terjadi pada permukaan pipa. Dalam pemilihan inhibitor kerak terdapat beberapa faktor penting yang perlu di pertimbangkan yaitu sifat kimia kerak (Chen, 2011), jenis proses industri, lingkungan operasional, efektivitas inhibitor dan biodegradabilitas dan kestabilan (Shreir *et al.*, 2013) serta jumlah biaya (Raharjo, 2020).

Buah sawit (*Elaeis guineensis*) memiliki beberapa bagian seperti sabut (*mesocarp*), cangkang dan inti buah sawit (kernel). Kandungan yang ada pada sabut sawit meliputi asam lemak, vitamin E, karotenoid, fenolat, fitosterol, selulosa, hemiselulosa, lignin dan air (Morad *et al.*, 2006) yang terbukti menghambat pertumbuhan kerak CaCO_3 (Ng *and* Choo, 2018). Cangkang sawit yang digunakan di pirolisis untuk memperoleh asap cair cangkang sawit (ACS). Pemilihan perpaduan ekstrak sabut sawit (ES) dan ACS sebagai inhibitor kerak karena memiliki harga yang murah dan mudah di produksi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *green inhibitor*.

Pada penelitian ini akan dilakukan studi tentang keefektifan ES dan ACS sebagai inhibitor kerak. Untuk menguji efektivitasnya, maka akan dibandingkan dengan inhibitor dari asam etilen diamin tetra asetat (EDTA) yang sudah dilakukan oleh Wang *et al.* (2016) sebagai inhibitor kerak yang efektif untuk menghambat pembentukan kerak dalam bidang industri.

Metode yang digunakan untuk mengetahui keefektifan suatu inhibitor secara kuantitatif dapat diketahui berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode *seeded experiment* dan *unseeded experiment*. *Seeded experiment* salah satu metode pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Sedangkan metode *unseeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukan kristal tanpa menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan sehingga dapat melihat laju pertumbuhan kerak CaCO_3 . Metode ini biasanya digunakan untuk pemeliharaan alat-alat industri yang masih baru sehingga dibutuhkan pencegahan pertumbuhan kerak CaCO_3 .

Analisis gugus fungsi inhibitor dilakukan menggunakan Spektrofotometer IR dan untuk mengetahui komponen senyawa kimia menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*), analisis morfologi CaCO_3 menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*), analisis struktur kerak CaCO_3 menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), sedangkan distribusi ukuran partikelnya diukur menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui keefektifan inhibitor ES, ACS, campuran ES dan ACS serta asam EDTA dalam menghambat pertumbuhan kerak CaCO_3 .
2. Mempelajari perubahan ukuran dan fasa kristal pada kerak CaCO_3 dengan atau tanpa penambahan inhibitor.

1.2. Manfaat Penelitian

Penelitian tentang pemanfaatan penggunaan ES, ACS, dan campurannya sebagai inhibitor pembentukan kerak CaCO_3 memiliki potensi besar dalam berbagai aplikasi industri. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi yang bertujuan untuk mengontrol dan mencegah pembentukan kerak kalsium karbonat yang seringkali menjadi masalah dalam berbagai proses industri. Dengan memanfaatkan ES, ACS, dan campurannya sebagai inhibitor, proses-proses tersebut dapat menjadi lebih efisien dan berkelanjutan karena mengurangi akumulasi kerak kalsium karbonat yang dapat mengganggu aliran fluida yang dapat mengurangi efisiensi peralatan. Selain itu, penelitian ini juga dapat membantu dalam pengembangan bahan-bahan ramah lingkungan yang dapat menggantikan bahan kimia dalam pengendalian pembentukan kerak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembentukan Senyawa Anorganik

Dalam industri, pipa peralatan sering terkena reaksi kimia yang dapat menyebabkan terbentuknya senyawa anorganik. Senyawa anorganik merupakan senyawa kimia yang tidak mengandung atom karbon dan biasanya ditemukan dalam bentuk garam, oksida, atau asam. Pembentukan senyawa anorganik pada pipa peralatan industri dapat terjadi sebagai hasil dari beberapa faktor, seperti proses korosi, endapan mineral, dan interaksi dengan bahan kimia yang ada di dalam sistem. Pembentukan senyawa anorganik pada pipa peralatan industri dapat memiliki dampak negatif yang signifikan. Misalnya, endapan mineral seperti kapur, karat, kerak atau timah dapat mengurangi aliran fluida, meningkatkan tekanan pipa, mengurangi efisiensi penukar panas, dan bahkan menyebabkan kerusakan permanen pada peralatan (Mahamuni *and* Shaikh, 2017).

Pendinginan pipa industri dengan menggunakan air dapat dilakukan dengan beberapa mekanisme. Menurut Incropera *et al.* (2017) ada beberapa mekanisme pendinginan pipa industri dengan air yang umum digunakan, yaitu:

a. Pendinginan aliran air

Mekanisme ini melibatkan mengalirkan air melalui pipa untuk menghilangkan panas dari fluida atau permukaan pipa yang perlu didinginkan. Aliran air yang terus menerus membawa panas dari pipa ke air yang lebih dingin, sehingga mendinginkan pipa secara efektif. Proses ini umumnya dilakukan dengan menggunakan pompa untuk memastikan aliran air yang terus menerus.

b. Pendinginan dengan air siram

Metode ini melibatkan menyiramkan air secara langsung pada pipa atau permukaan yang perlu didinginkan. Air siram akan menyerap panas dari permukaan pipa dan menguap, sehingga mendinginkan pipa. Metode ini sering digunakan pada pipa-pipa yang memiliki suhu yang sangat tinggi.

c. Pendinginan dengan menggunakan air kondensasi

Mekanisme ini terutama digunakan untuk menghilangkan panas dari uap panas. Air kondensasi mengalir melalui pipa dengan uap panas di dalamnya, dan panas yang dihasilkan oleh kondensasi uap akan diserap oleh air, mendinginkan pipa.

2.2. Kerak

Kerak adalah lapisan keras yang terbentuk pada permukaan benda padat, biasanya karena proses oksidasi, dekomposisi, atau deposisi zat-zat kimia. Kerak sering kali terbentuk sebagai hasil reaksi antara benda padat dengan lingkungan sekitarnya, seperti udara, air, atau bahan kimia tertentu (Ehrlich *et al.*, 2016).



Gambar 1. Endapan kerak pada pipa (Raharjo S., 2016)

Pembentukan kerak pipa-pipa industri dan rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan baik dibidang teknis maupun ekonomis. Pembentukan kerak pada pipa industri dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Berikut adalah beberapa penyebab umum pembentukan kerak pada pipa industri

a. Skala mineral

Ketika air atau fluida industri mengandung mineral seperti kalsium, magnesium, atau besi, dan mengalami pemanasan atau pendinginan, mineral-mineral tersebut dapat terpisah dari air dan membentuk lapisan keras yang disebut skala mineral. Skala mineral dapat menyumbat pipa dan mengurangi aliran fluida. Penyebab utama skala mineral adalah kekerasan air dan tingkat mineral yang tinggi (Veeken *and* Singh, 2013).

b. Korosi

Korosi adalah proses pelunakan atau kerusakan bahan pipa akibat reaksi kimia antara pipa dan lingkungan sekitarnya. Korosi dapat membentuk lapisan kerak pada permukaan pipa, yang dapat menghambat aliran dan menyebabkan kebocoran. Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi termasuk pH air, suhu, kelembaban, kandungan oksigen, dan bahan kimia dalam fluida industri.

c. Akumulasi lumpur

Lumpur atau endapan kotoran dapat terbentuk dalam pipa akibat partikel-partikel kecil yang terbawa oleh fluida. Lumpur dapat mengendap dan membentuk kerak yang mengurangi aliran fluida dan dapat menyebabkan kerusakan pada pipa. Faktor-faktor yang berkontribusi pada akumulasi lumpur antara lain kualitas air, kecepatan aliran, dan konsentrasi partikel dalam fluida (Li *et al.*, 2017).

d. Pengendapan asam

Beberapa industri menggunakan fluida yang mengandung asam, seperti asam sulfat atau asam klorida. Jika kondisi operasional tidak sesuai, asam dapat mengendap pada permukaan pipa dan membentuk kerak asam. Kerak asam dapat menyebabkan korosi yang serius dan membahayakan integritas pipa (Speight, 2015).

Hal ini sesuai dengan penelitian Suharso, dkk (2013) dimana kerak dapat menyumbat air yang mengalir pada pipa sehingga menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa tersebut akan memperkecil ukuran diameter lubang sehingga menghambat aliran fluida pada pipa tersebut.

2.3. Mekanisme Pembentukan Kerak

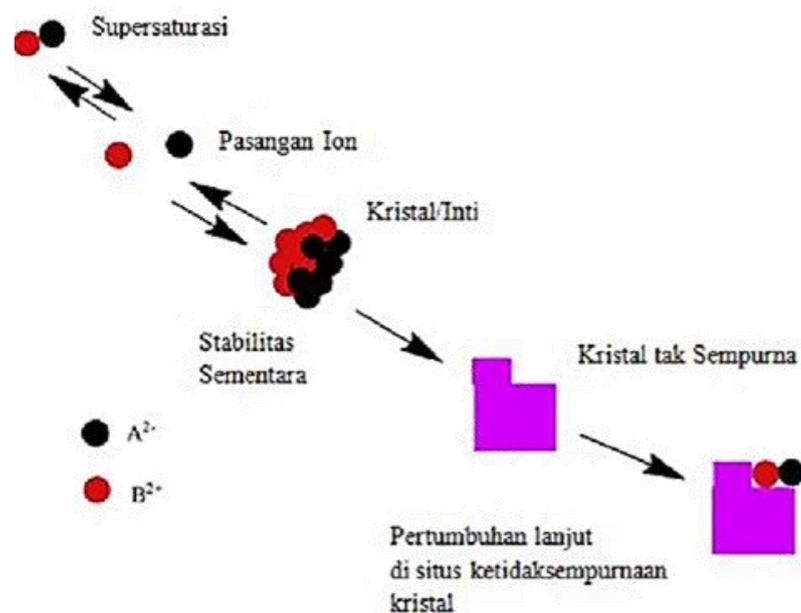
Pada pipa industri, pembentukan kerak terjadi karena adanya pengendapan mineral atau zat-zat padat yang terlarut dalam fluida yang mengalir di dalam pipa. Proses ini dikenal sebagai skalering atau *scaling*. Mekanisme pembentukan kerak pada pipa industri dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kelebihan mineral dalam air, perubahan suhu dan tekanan, atau adanya reaksi kimia antara zat-zat dalam fluida dengan material pipa. Salah satu mekanisme utama pembentukan kerak adalah pengendapan mineral. Ketika air yang mengandung mineral mengalir melalui pipa, beberapa mineral tersebut dapat bereaksi dengan material pipa atau dengan mineral lain yang terdapat dalam air. Reaksi ini menghasilkan endapan mineral yang menumpuk dan membentuk lapisan kerak pada permukaan dalam pipa. Mineral yang sering terlibat dalam pembentukan kerak antara lain kalsium karbonat (kapur), magnesium hidroksida (brucite), besi oksida (karat), atau silika (Nandi *et al.*, 2017).

Selain pengendapan mineral, faktor lain yang mempengaruhi pembentukan kerak adalah perubahan suhu dan tekanan. Ketika fluida dalam pipa mengalami peningkatan suhu atau penurunan tekanan, terjadi perubahan kondisi fisik yang mempengaruhi kelarutan mineral dalam air. Akibatnya, mineral-mineral tersebut dapat mengendap dan membentuk kerak pada pipa (Poddar *and* Das, 2013). Reaksi kimia juga dapat memainkan peran penting dalam pembentukan kerak. Beberapa zat kimia dalam fluida, seperti oksigen terlarut atau zat-zat kimia yang ditambahkan sebagai agen pengawet atau penghambat korosi, dapat bereaksi dengan material pipa atau mineral-mineral dalam air. Reaksi ini dapat menyebabkan pengendapan zat-zat kimia yang membentuk lapisan kerak pada pipa (Ahmad *et al.*, 2017).

Nukleasi homogen dan nukleasi heterogen adalah dua mekanisme yang terlibat dalam pembentukan kerak. Pembentukan kerak adalah proses dimana partikel-partikel kecil disusun secara bertahap menjadi kerak padat. Nukleasi merujuk pada pembentukan titik awal atau inti dari kerak tersebut.

1. Nukleasi homogen

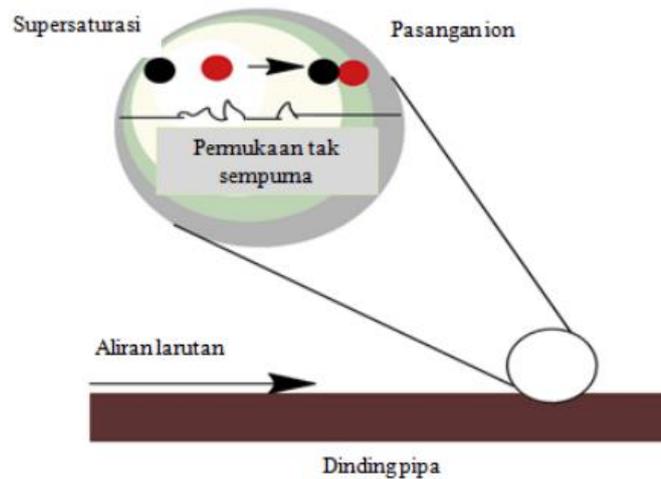
Nukleasi homogen terjadi ketika partikel-partikel kecil dalam larutan tersebar secara merata, dan kemudian mereka berkumpul dan membentuk inti kerak yang baru. Proses ini biasanya terjadi dalam larutan jenuh, di mana konsentrasi zat terlarut melebihi titik jenuhnya. Partikel-partikel yang larut dalam larutan bergerak secara acak dan akhirnya berinteraksi satu sama lain, membentuk inti padat yang menjadi titik awal pertumbuhan kerak (Senthilnathan, 2018).



Gambar 2. Nukleasi homogen (Shanti, 2018).

2. Nukleasi heterogen

Nukleasi heterogen terjadi ketika inti pembentuk kerak berasal dari permukaan atau partikel-partikel lain yang berbeda secara fisik dari larutan. Dalam proses ini, partikel-partikel yang berfungsi sebagai nukleus atau inti kerak terdapat di permukaan benda padat, seperti debu, partikel-partikel kecil, atau cacat pada permukaan. Inti ini menarik partikel-partikel yang terlarut dalam larutan dan membentuk kerak di sekitar inti tersebut (Sharma and Chandra, 2017).



Gambar 3. Nukleasi heterogen (Shanti, 2018).

2.4. Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium karbonat (CaCO_3) adalah senyawa anorganik yang umumnya ditemukan dalam bentuk batu kapur atau gamping. Dalam industri, masalah yang sering terjadi adalah penumpukan kalsium karbonat pada pipa-pipa yang digunakan untuk mengalirkan air atau larutan. Akumulasi kalsium karbonat ini dapat mengganggu aliran fluida, menyebabkan penurunan kapasitas pipa, meningkatkan biaya energi, dan bahkan menyebabkan kerusakan permanen pada sistem pipa. Penumpukan kalsium karbonat terjadi ketika air mengandung konsentrasi tinggi kalsium dan karbonat ion. Ketika air tersebut dipanaskan atau mengalami perubahan tekanan, ion-ion kalsium dan karbonat bereaksi membentuk endapan kalsium karbonat padat yang menempel pada dinding pipa. Proses ini dikenal sebagai skala atau kerak (Zhang, 2016). Untuk mengatasi masalah ini, beberapa metode pencegahan dan pengendalian dapat dilakukan. Salah satunya adalah penggunaan bahan kimia penghambat kerak untuk mencegah terbentuknya endapan kalsium karbonat. Penghambat kerak ini bekerja dengan mengubah karakteristik kimia air, sehingga mengurangi kemampuan kalsium dan karbonat untuk bereaksi dan membentuk endapan. Bahan kimia yang umum digunakan meliputi polifosfat, poliakrilat, dan poliaspartat (Aggarwal *and* Hassanizadeh, 2015).

Selain itu, pemeliharaan rutin pada sistem pipa juga penting. Ini melibatkan pembersihan dan perawatan berkala untuk menghilangkan penumpukan kalsium karbonat yang sudah ada. Metode pembersihan yang umum meliputi penggunaan asam atau larutan asam untuk melarutkan kerak kalsium karbonat. Namun, perlunya dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kerusakan pada material pipa.

Pembentukan CaCO_3 pada pipa industri adalah salah satu jenis korosi yang umum terjadi dalam sistem perpipaan yang menggunakan air keras atau mengandung kalsium dan karbonat. Reaksi pembentukan CaCO_3 ini disebut juga sebagai korosi karbonat. Reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut:



Reaksi ini terjadi ketika ion kalsium (Ca^{2+}) dari air atau larutan masuk ke dalam pipa dan bertemu dengan ion karbonat (CO_3^{2-}) yang juga terdapat dalam air atau larutan. Kedua ion ini bereaksi membentuk endapan padat CaCO_3 , yang menempel pada permukaan dalam pipa. Menurut Melchers (2019), pembentukan endapan CaCO_3 ini dapat menyebabkan beberapa masalah dalam sistem perpipaan industri, antara lain:

- a. Penurunan aliran: Endapan CaCO_3 yang menumpuk pada permukaan dalam pipa dapat menyebabkan penyempitan saluran dan mengurangi aliran fluida yang efisien.
- b. Penurunan efisiensi peralatan: Endapan CaCO_3 pada permukaan penukar panas atau elemen pemanas dapat mengisolasi panas dan mengurangi efisiensi peralatan tersebut.
- c. Penurunan tekanan: Akumulasi endapan CaCO_3 dapat menyebabkan penurunan tekanan dalam sistem perpipaan, yang dapat mengganggu proses produksi.

2.5. Metode Pencegahan Kerak CaCO_3

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak CaCO_3 pada pipa industri, yaitu:

2.5.1 Pengendalian pH

Pengendalian pH adalah proses mengatur tingkat keasaman atau kebasaan dalam larutan untuk mencegah terbentuknya kerak CaCO_3 pada pipa industri. Kerak CaCO_3 , juga dikenal sebagai kerak kalsium karbonat atau kerak kapur, dapat terbentuk ketika kalsium karbonat yang terlarut dalam air mengendap dan mengkristal di permukaan pipa. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat diambil untuk mengendalikan pH dan mencegah terbentuknya kerak CaCO_3 pada pipa industri menurut Neta *et al.* (2015):

- a. Pemantauan pH: Pertama-tama, penting untuk memantau pH secara teratur dalam sistem pipa. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengukur pH yang tepat. Pemantauan yang teratur akan membantu mengidentifikasi perubahan pH yang tidak diinginkan dan mengambil tindakan yang sesuai.
- b. Pengaturan pH: Jika pH dalam sistem pipa cenderung asam (pH rendah), penambahan bahan pengatur pH basa seperti sodium hidroksida (NaOH) atau amonia (NH_3) dapat digunakan untuk meningkatkan pH. Sebaliknya, jika pH cenderung basa (pH tinggi), asam seperti asam sulfat (H_2SO_4) atau asam karbonat (H_2CO_3) dapat ditambahkan untuk menurunkan pH.
- c. Pemilihan bahan kimia: Dalam beberapa kasus, penggunaan bahan kimia penghambat kerak juga dapat membantu mengendalikan pembentukan kerak CaCO_3 pada pipa. Bahan kimia seperti polifosfat atau poliakrilat dapat digunakan untuk menghambat kristalisasi kalsium karbonat.
- d. Pengendalian suhu: Suhu juga dapat mempengaruhi pembentukan kerak CaCO_3 . Pada umumnya, dengan meningkatkan suhu, kelarutan kalsium karbonat dalam air akan meningkat, sehingga kemungkinan terbentuknya kerak juga akan meningkat. Pengendalian suhu pada pipa industri dapat membantu mencegah pembentukan kerak.

- e. Perlindungan Mekanis: Selain mengendalikan pH, perlindungan mekanis seperti penggunaan lapisan pelindung dalam pipa atau penggunaan pipa yang terbuat dari bahan tahan korosi dapat membantu mencegah terbentuknya kerak pada permukaan pipa.

2.5.2 Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Pelunakan dan pembebasan mineral air adalah proses untuk mengurangi kandungan mineral dalam air yang digunakan dalam pipa industri guna mencegah terbentuknya kerak kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat menyebabkan penyumbatan dan kerusakan pada pipa. Mineral-mineral utama yang sering terkandung dalam air adalah kalsium dan magnesium, yang dapat bereaksi dengan karbon dioksida (CO_2) dalam air dan membentuk kerak CaCO_3 (Liu *and* Chen, 2016). Pelunakan air biasanya dilakukan melalui proses yang disebut pengolahan air. Beberapa metode umum yang digunakan termasuk:

- a. Pengendapan Kimia: Metode ini melibatkan penambahan bahan kimia seperti polielektrolit atau koagulan untuk membantu mengendapkan mineral dalam air. Dalam proses ini, partikel-partikel mineral membentuk flok yang lebih besar dan dapat dengan mudah diendapkan.
- b. Filtrasi: Air yang mengandung mineral-mineral tertentu dapat dilewatkan melalui filter yang dirancang khusus untuk menghilangkan mineral tersebut. Filter dapat menggunakan bahan seperti zeolit atau resin penukar ion untuk menangkap kalsium dan magnesium.
- c. Pengolahan dengan Penukar Ion: Metode ini melibatkan penggunaan penukar ion untuk menggantikan ion kalsium dan magnesium dengan ion lain yang tidak menyebabkan kerak, seperti natrium. Penukar ion biasanya berupa resin yang mengandung ion yang diinginkan, dan air dialirkan melalui resin tersebut untuk menggantikan ion kalsium dan magnesium.

2.5.3. Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak, atau yang juga dikenal sebagai inhibitor korosi atau inhibitor pengendap, adalah senyawa kimia yang digunakan untuk menghambat atau

mencegah terbentuknya kerak atau korosi pada permukaan logam. Kerak dan korosi dapat terbentuk karena adanya reaksi kimia antara logam dengan lingkungan sekitarnya, terutama dalam kondisi yang mengandung air atau kelembaban. Inhibitor kerak bekerja dengan cara membentuk lapisan pelindung pada permukaan logam, yang mencegah kontak langsung antara logam dan lingkungan yang korosif (Fu *et al.*, 2020). Lapisan ini dapat terbentuk melalui mekanisme yang berbeda, seperti adsorpsi pada permukaan logam, membentuk lapisan pasif, atau melalui interaksi kimia dengan komponen korosif. Inhibitor kerak dapat digunakan dalam berbagai industri, termasuk industri minyak dan gas, industri kimia, dan industri pengolahan air. Inhibitor kerak dapat diterapkan dalam berbagai bentuk, termasuk dalam bentuk cairan atau padatan yang ditambahkan ke dalam sistem, atau dalam bentuk lapisan pelindung yang diaplikasikan pada permukaan logam (Loto, 2017).

Ada beberapa tipe inhibitor kerak yang digunakan dalam berbagai industri, seperti inhibitor kerak kalsium karbonat, inhibitor kerak kalsium sulfat, dan inhibitor kerak silika. Menurut Speight (2015) inhibitor kerak bekerja dengan beberapa mekanisme yang berbeda, termasuk:

a. Inhibisi kristalisasi

Inhibitor kerak bekerja dengan menghambat atau mengubah kristalisasi mineral yang membentuk kerak. Ini dapat dilakukan dengan menghambat pertumbuhan kristal atau mengubah bentuk dan struktur kristal sehingga tidak mudah menempel pada permukaan.

b. Dispersi Partikel

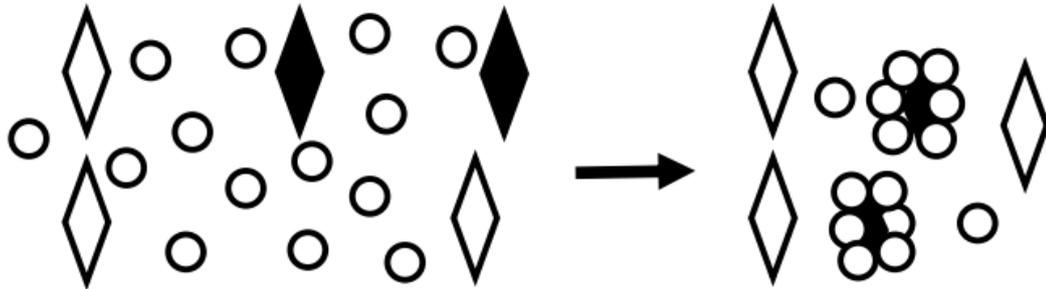
Inhibitor kerak dapat menghambat pembentukan kerak dengan cara menyebarkan partikel-partikel mineral yang cenderung membentuk kerak. Dengan menjaga partikel-partikel ini tersebar secara homogen di dalam fluida, mereka tidak dapat saling berdekatan dan membentuk lapisan kerak yang padat.

c. Inhibisi Adhesi

Inhibitor kerak dapat mengganggu ikatan antara partikel-partikel kerak dengan permukaan peralatan. Ini dapat dilakukan dengan membentuk

lapisan pelindung pada permukaan yang menghalangi kontak langsung antara permukaan logam dan partikel-partikel kerak.

Mekanisme inhibitor kerak dalam menghambat laju pertumbuhan kristal ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan (\circ = inhibitor, \diamond = bibit kristal) (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014).

Pada Gambar 4, memberikan gambaran bagaimana kerja inhibitor dalam mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal dari bibit kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam) yang mengakibatkan pertumbuhan kristal menjadi terhambat. Sedangkan pada bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal yang tidak diberi warna) mengalami pertumbuhan normal (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014).

Untuk menjadi inhibitor kerak yang efektif, senyawa kimia harus memenuhi beberapa syarat tertentu. Berikut adalah beberapa syarat yang harus dimiliki oleh senyawa kimia sebagai inhibitor kerak:

a. Stabilitas Kimia

Senyawa harus stabil secara kimia untuk mempertahankan aktivitasnya dalam lingkungan yang keras dan suhu tinggi yang umumnya terkait dengan proses pembentukan kerak. Ketahanan terhadap oksidasi, hidrolisis, dan reaksi kimia lainnya sangat penting untuk menjaga kestabilan senyawa sebagai inhibitor kerak.

b. Kelarutan

Senyawa harus cukup larut dalam medium yang akan diinhibisi (seperti air dalam sistem pendinginan) untuk mencapai konsentrasi yang efektif dalam

menghambat pembentukan kerak. Larutan yang baik membantu senyawa untuk terdispersi secara merata dan efisien dalam sistem yang relevan.

c. **Aktivitas Inhibisi**

Senyawa harus memiliki aktivitas yang kuat dalam menghambat pembentukan kerak. Ini bisa mencakup penghambatan pembentukan endapan mineral, penghambatan korosi, atau penghambatan pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam pembentukan kerak.

d. **Selektivitas**

Senyawa harus selektif dalam menghambat pertumbuhan kerak tanpa merusak komponen atau material lain dalam sistem yang diinhibisi. Ini membantu menjaga keandalan dan kualitas sistem secara keseluruhan.

e. **Kompatibilitas**

Senyawa harus kompatibel dengan bahan-bahan yang ada dalam sistem yang akan diinhibisi. Ini termasuk kompatibilitas dengan bahan konstruksi, bahan pendingin, atau bahan lain yang ada dalam sistem. Senyawa yang tidak kompatibel dapat menyebabkan kerusakan atau gangguan pada sistem.

(Roestiyah *et al.*, 2018).

2.6. Tanaman Sawit

Indonesia saat ini merupakan negara yang mempunyai perkebunan sawit terluas di dunia. Penyebaran tanaman sawit di Indonesia sangat pesat. Hal ini terlihat dengan adanya peningkatan luas areal sawit pada lima tahun terakhir, dimana pada tahun 2016 sebaran luas areal sawit sekitar 11.210,50 hektar dan pada akhir tahun 2021 sekitar 14.663,60 hektar (Data BPS, 2022).

Luas areal Perkebunan sawit di Provinsi Lampung pada tahun 2020 menduduki posisi ketiga se-Indonesia dengan luas areal sebesar 196.312 ha. Kabupaten yang memiliki luas areal tertinggi berada di Kabupaten Mesuji dengan luas areal 21.600 ha kapasitas produksi mencapai 36.987 ton per tahun. Berdasarkan peta GIS data persebaran luas areal dan produksi sawit di Provinsi Lampung tahun 2020, Lampung memiliki empat kabupaten yang memiliki luas areal perkebunan sawit

dengan luas areal diatas 12.000 ha yaitu Kabupaten Mesuji, Kabupaten Lampung Tengah, Kabupaten Tulang Bawang dan Kabupaten Way Kanan (Dinas Perkebunan Provinsi Lampung, 2022). Data persebaran luas areal dan produksi komoditas sawit ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data sebaran tanaman sawit di Provinsi Lampung Tahun 2020

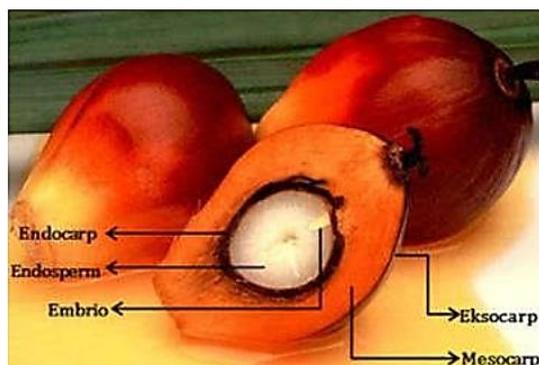
No	Wilayah	Luas Lahan (Hektar)	Jumlah Produksi 2(ton)
1	Kota Bandar Lampung	53	150
2	Pesawaran	792	681
3	Lampung Selatan	7.150	10.521
4	Lampung Timur	7512	7.128
5	Pringsewu	1.136	817
6	Tanggamus	30	43
7	Kota Metro	0	0
8	Pesisir Barat	7.111	14.865
9	Lampung Barat	35	19
10	Lampung Utara	8.031	4.750
11	Lampung Tengah	19.179	43.095
12	Way Kanan	13.772	27.665
13	Tulang Bawang Barat	4.091	4.111
14	Tulang Bawang	18.922	46.8071
15	Mesuji	21.600	36.987

(Dinas Perkebunan Provinsi Lampung, 2022)

Tanaman sawit, yang juga dikenal sebagai *Elaeis guineensis*, adalah tanaman tropis yang tumbuh terutama di daerah beriklim panas dan lembap. Sawit adalah tanaman yang sangat penting dalam industri minyak sawit, yang menghasilkan minyak sawit yang banyak digunakan dalam berbagai produk konsumen dan industri. Salah satu alasan utama kepopuleran sawit adalah kandungan minyaknya yang tinggi. Minyak sawit memiliki sifat yang stabil pada suhu tinggi, tahan terhadap oksidasi, serta rendah dalam kandungan asam lemak jenuh (Fauzi, 2012). Hal ini menjadikan minyak sawit sebagai bahan baku yang ideal dalam pembuatan berbagai produk makanan dan kosmetik.

Buah sawit terdiri dari lapisan terluar (*eksokarp*), ampas buah yang mengandung minyak dalam matriks serat (*mesokarp*), lapisan bagian tengah buah (*endokarp*), dan *kernel* yang juga mengandung minyak dan akan menghasilkan *Crude Palm*

Kernel Oil (CPKO) (Anggry dkk, 2019). Morfologi buah sawit ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Morfologi buah sawit (Anggry dkk, 2019)

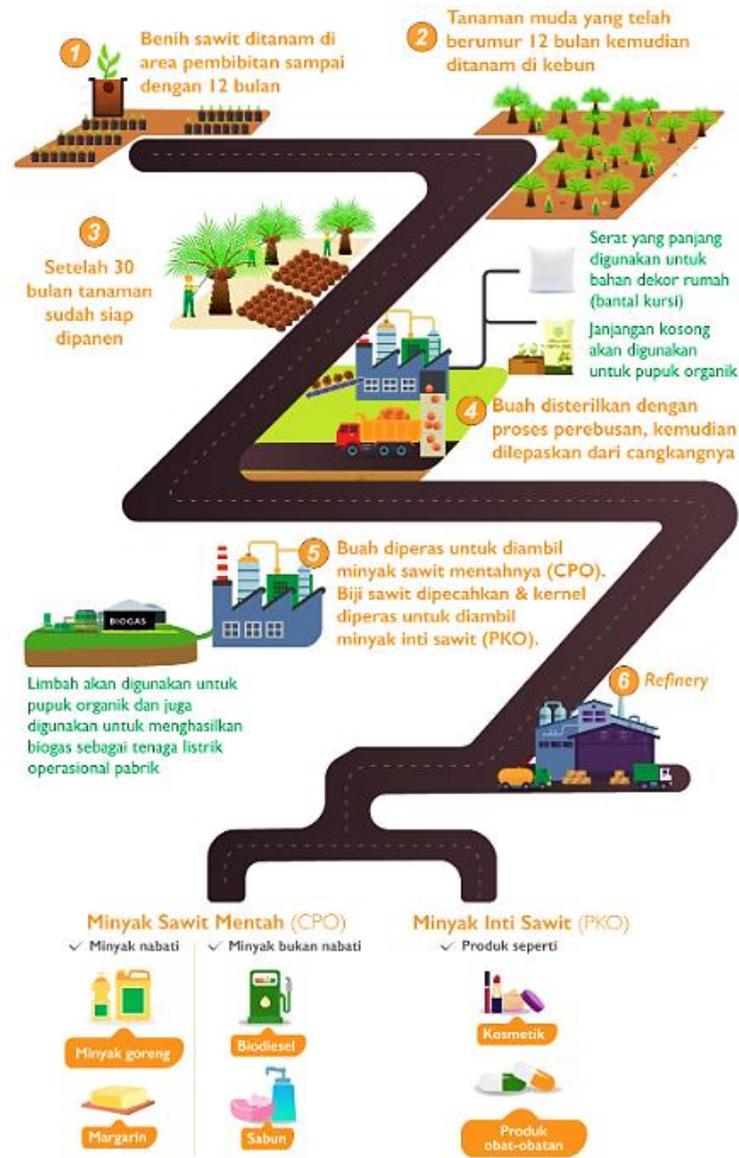
Tanaman sawit menghasilkan dua jenis minyak yaitu minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil* (CPO)) yang dihasilkan dari bagian *mesocarp* dan minyak inti sawit (*Palm Kernel Oil* (PKO)) dari bagian kernel buah sawit. Kedua jenis minyak tersebut, memiliki karakteristik yang berbeda. CPO mengandung asam lemak jenuh dan tidak jenuh yang berimbang. Asam lemak jenuh pada CPO antara lain 44% asam palmitat, 5% asam stearat dan sejumlah kecil asam miristat sedangkan asam lemak tidak jenuhnya adalah 40% asam lemak tidak jenuh tunggal berupa asam oleat dan 10% asam lemak tidak jenuh ganda berupa asam linoleat dan linolenat (Sujadi dkk., 2016). Sedangkan PKO mengandung asam laurat sekitar 50% (Montoya *et al.*, 2013). Dussert *et al.*, 2013 melaporkan bahwa embrio pada bagian kernel juga mengandung minyak dengan kandungan asam linoleat tinggi.

Mesocarp atau sabut sawit mengandung banyak nutrisi dan komponen penting seperti:

- Minyak sawit: Komponen utama dari *mesocarp* adalah minyak sawit yang terdiri dari asam lemak jenuh dan tidak jenuh, seperti asam palmitat, oleat, stearat, dan linoleat. Minyak sawit digunakan dalam berbagai produk makanan, kosmetik, dan bahan bakar.
- Serat: *Mesocarp* mengandung serat yang dapat membantu mengatur sistem pencernaan dan meningkatkan kesehatan jantung. Vitamin dan mineral: Buah sawit juga mengandung beberapa vitamin dan mineral penting,

seperti vitamin A, E, dan K, serta zat besi, magnesium, dan fosfor (Ngando-Ebongue *et al.*, 2014).

Alur pada pengolahan minyak sawit ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Alur pengolahan minyak sawit (www.asianagri.com)

2.7. Asap Cair Cangkang Sawit (ACS)

Asap cair cangkang sawit (ACS) adalah produk yang dihasilkan dari pirolisis serta dari cangkang sawit. ACS umumnya digunakan dalam industri energi, seperti bahan bakar alternatif untuk pembangkit listrik atau pemanas industri, juga dapat

digunakan dalam industri kimia untuk produksi bahan kimia tertentu atau sebagai bahan baku dalam produksi biofuel (Cheng, 2017). Keuntungan penggunaan ACS adalah dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan memberikan alternatif yang lebih ramah lingkungan. ACS adalah produk yang digunakan sebagai inhibitor kerak pipa dalam industri. Inhibitor kerak pipa adalah zat yang ditambahkan ke sistem perpipaan untuk mencegah terbentuknya kerak atau endapan padat yang dapat mengganggu aliran fluida atau mengurangi efisiensi sistem perpipaan (Sayuti, 2017).

ACS memiliki beberapa sifat yang membuatnya efektif sebagai inhibitor kerak pipa. Menurut Nasruddin *et al.* (2019) beberapa sifat tersebut antara lain:

a. Kemampuan pelunakan

ACS memiliki kemampuan untuk melunakkan dan menghancurkan kerak yang sudah terbentuk pada pipa. Ini membantu menjaga aliran yang lancar dan mengoptimalkan kinerja sistem perpipaan.

b. Sifat antikorosi

ACS juga dapat berperan sebagai inhibitor korosi yang melindungi pipa dari kerusakan akibat korosi. Ini membantu memperpanjang masa pakai pipa dan mencegah kerusakan yang mungkin timbul akibat reaksi kimia yang merugikan.

c. Sifat anti endapan

ACS dapat mencegah terbentuknya endapan padat seperti kerak pada permukaan dalam pipa. Ini membantu menjaga aliran yang lancar dan mengurangi kemungkinan terjadinya penyumbatan atau pengurangan efisiensi sistem perpipaan.

Menurut Fauziati dan Eldha (2021) pirolisis cangkang sawit dapat menghasilkan lebih dari 400 senyawa aktif yang dapat digunakan sebagai bahan industri.

Beberapa contoh senyawa aktif yang dihasilkan dari pirolisis cangkang sawit adalah:

1. Senyawa Asam, yaitu asam asetat dan asam lainnya yang memiliki peran sebagai penggumpal lateks dan pengawet bahan makanan.

2. Senyawa Fenol yang berperan sebagai antioksidan dan pengawet bahan makanan.
3. Senyawa Volatil seperti tar yang masih terkandung dalam asap cair hasil pirolisis.
4. Senyawa Anti Bakteri dan Anti Jamur yang dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur, seperti *E. Colli*, *Staphilococcus aureus*, dan *Salmonella*.

Asap cair cangkang sawit dibagi menjadi 3 kualitas, yaitu *grade 1*, *grade 2* dan *grade 3*. Perbedaan visual masing-masing *grade* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbedaan visual warna asap cair pada masing-masing *grade* (Ali dan Hidayat, 2020)

Perbedaan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Proses Pembuatan
 - Asap Cair *Grade 3*: Asap cair ini dihasilkan melalui proses pirolisis dengan suhu yang lebih rendah (misalnya 300°C) dan waktu pirolisis yang lebih singkat (misalnya 8 jam). Proses ini tidak melibatkan destilasi yang intensif, sehingga asap cair ini masih mengandung banyak tar dan senyawa berbahaya (Ita dkk, 2024).
 - Asap Cair *Grade 2*: Asap cair ini dihasilkan dengan proses pirolisis yang lebih intensif, seperti suhu yang lebih tinggi (misalnya 340°C) dan waktu pirolisis yang lebih lama (misalnya 4,5 jam). Selain itu, asap cair ini telah melalui proses destilasi untuk memisahkan senyawa

berbahaya, sehingga kualitasnya lebih tinggi dibandingkan *grade 3* (Y.S. Rendi dkk, 2020).

- Asap Cair *Grade 1*: Asap cair ini dihasilkan dengan proses pirolisis yang paling intensif, seperti suhu yang paling tinggi (misalnya 380°C) dan waktu pirolisis yang paling lama (misalnya 8 jam). Selain itu, asap cair ini telah melalui proses destilasi yang lebih intensif untuk memisahkan senyawa berbahaya, sehingga kualitasnya paling tinggi (Ita dkk, 2024).

2. Kualitas

- Asap Cair *Grade 3*: Asap cair ini masih mengandung banyak tar dan senyawa berbahaya, sehingga tidak dapat digunakan untuk pengawetan makanan. Namun, dapat digunakan pada pengolahan karet, penghilang bau, dan pengawet kayu.
- Asap Cair *Grade 2*: Asap cair ini telah diproses lebih lanjut untuk menghilangkan beberapa senyawa berbahaya, sehingga dapat digunakan sebagai pengawet makanan. Namun, masih ada beberapa senyawa berbahaya yang terkandung dalam asap cair ini.
- Asap Cair *Grade 1*: Asap cair ini telah diproses paling lanjut dan tidak mengandung senyawa berbahaya, sehingga dapat digunakan sebagai pengawet makanan yang paling aman dan efektif (Y.S. Rendi dkk, 2020).

Penggunaan asap cair dari cangkang sawit memiliki berbagai manfaat dalam industri dan kehidupan sehari-hari. Berikut adalah beberapa poin penting:

1. Pengawetan Makanan

Asap cair dari cangkang sawit dapat digunakan sebagai pengawet alami untuk makanan. Senyawa fenol, karbonil, dan asam dalam asap cair memiliki sifat antimikroba yang efektif untuk menghambat aktivitas mikroba perusak dan pembusuk, sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk makanan (Ginayati dkk, 2015).

2. Tekstur dan Rasa

Asap cair dapat memberikan efek terhadap rasa, warna, dan aroma pada produk makanan. Misalnya, tahu yang direndam dengan asap cair

memiliki tekstur yang lebih lembut dan rasa yang lebih khas (Ginayati dkk, 2015).

3. Penggunaan dalam Industri

- Asap cair dapat digunakan sebagai bahan baku industri untuk berbagai aplikasi, seperti pengawet bahan makanan siap saji, bahan pengawet bahan makanan mentah, dan pengawet lateks dan kayu
- Proses pirolisis dari cangkang sawit dapat menghasilkan lebih dari 400 senyawa aktif yang dapat digunakan dalam berbagai industri, termasuk sebagai bahan antibakteri, antioksidan, dan pengawet (Fauziati dan Haspiadi, 2015).

4. Pengolahan Limbah

Cangkang sawit merupakan limbah padat yang banyak dihasilkan oleh industri kelapa sawit. Pengolahan cangkang sawit menjadi asap cair dapat meningkatkan nilai ekonomi limbah dan mengurangi dampak lingkungan dari limbah padat.

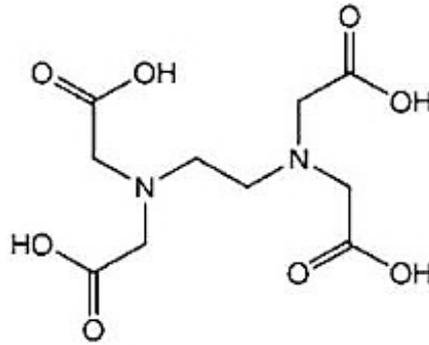
5. Penggunaan sebagai Antiseptik

Asap cair yang dihasilkan dapat digunakan sebagai antiseptik dengan kandungan komponen aktif dan aroma yang tidak menyengat. Hal ini membuat asap cair lebih aman digunakan dalam aplikasi medis.

Dalam keseluruhan, penggunaan asap cair dari cangkang sawit menawarkan solusi yang berkelanjutan dan ekonomis untuk pengolahan limbah industri kelapa sawit serta memberikan manfaat signifikan dalam industri pengawetan makanan dan aplikasi lainnya.

2.8. Asam Etilen Diamin Tetra Asetat (EDTA)

Asam EDTA adalah senyawa kimia yang sering digunakan sebagai inhibitor kerak dalam industri dan pengolahan air. Peran utama asam EDTA sebagai inhibitor kerak adalah melalui pembentukan kompleks dengan ion logam yang memicu terbentuknya kerak (Chowdhury *and* Yanful, 2014).



Gambar 8. Struktur asam EDTA (Ulfa dan Harmin, 2020)

Asam EDTA dapat menghambat pembentukan kerak melalui beberapa mekanisme, yaitu:

a. Pembentukan kompleks

EDTA dapat membentuk kompleks dengan ion logam yang ada dalam air atau larutan. Kompleks EDTA ini stabil dan dapat mencegah ion logam tersebut bereaksi dengan senyawa-senyawa penyebab kerak, seperti garam-garam anorganik. Dengan membentuk kompleks dengan ion logam, EDTA mengurangi ketersediaan ion logam tersebut untuk membentuk kerak.

b. Kelarutan kompleks

Kompleks EDTA yang terbentuk memiliki sifat kelarutan yang tinggi dalam air. Hal ini memungkinkan kompleks EDTA terlarut dalam air dan tetap dalam fase terdispersi, sehingga mencegah pengendapan sebagai kerak pada permukaan logam atau peralatan.

c. Stabilisasi koloid

EDTA juga dapat menghasilkan efek stabilisasi koloid, yaitu mencegah partikel-partikel kecil penyebab kerak bersatu dan membentuk partikel yang lebih besar. Dengan demikian, EDTA mempertahankan partikel-partikel kecil tersebut dalam suspensi koloid yang lebih stabil.

(Gao *et al.*, 2017).

2.9. Metode *Seeded* dan *Unseeded Experiment*

Metode *seeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan.

Penambahan bibit kristal dilakukan untuk mendorong terjadinya proses kristalisasi dengan lebih cepat. Adanya area permukaan bibit kristal akan mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Semakin cepat terjadinya proses kristalisasi maka akan semakin cepat laju pertumbuhan inti kristal kalsium karbonat untuk membentuk kristal yang semakin besar. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak kalsium karbonat setelah ditambahkan inhibitor dengan penambahan bibit kristal (*seeded experiment*).

Unseeded experiment merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara tanpa menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak CaCO_3 . Metode ini biasanya digunakan untuk pemeliharaan alat-alat industri yang masih baru sehingga dibutuhkan pencegahan pertumbuhan kerak CaCO_3 (Aisah, 2016).

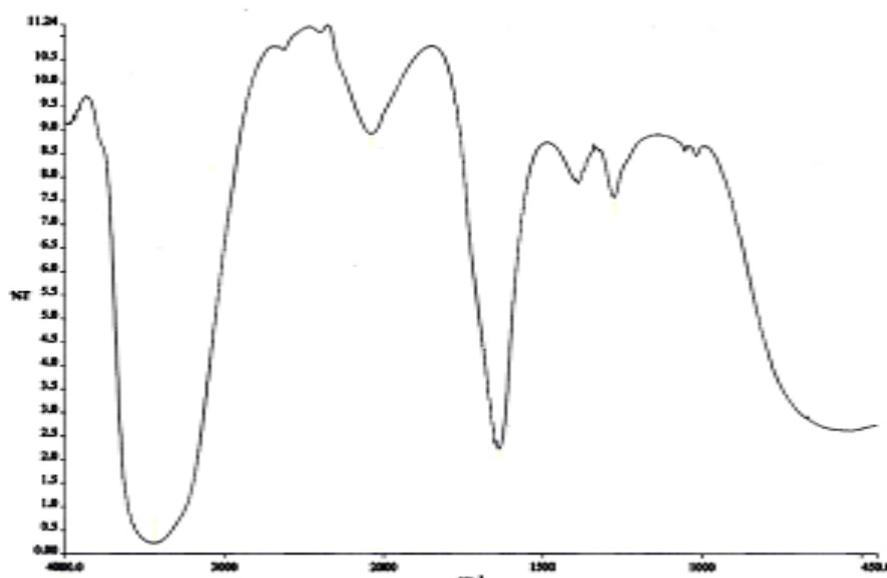
2.10. Analisis dan karakterisasi kerak CaCO_3

Pada penelitian ini dilakukan beberapa analisis dan karakterisasi terhadap kerak CaCO_3 yang telah terbentuk. Analisis tersebut meliputi analisis menggunakan spektrofotometri IR untuk mengidentifikasi struktur suatu senyawa serta gugus-gugus fungsional utama dalam suatu sampel. Analisis GC-MS digunakan untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang ada pada inhibitor campuran. Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dari kerak CaCO_3 . Analisis morfologi menggunakan SEM, dan analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA. Analisis dan karakterisasi ini dilakukan agar dapat mengetahui efektifitas ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, dan campurannya sebagai *green* inhibitor pembentukan kerak CaCO_3 serta asam EDTA sebagai pembanding.

2.10.1. Spektrofotometer Inframerah

Analisis Spektrofotometri Inframerah (IR) adalah metode analisis kimia yang menggunakan radiasi inframerah untuk mengukur interaksi molekuler antara bahan kimia dan cahaya inframerah. Metode ini sangat berguna dalam identifikasi dan karakterisasi bahan kimia, serta dalam penentuan konsentrasi zat tertentu dalam suatu sampel. Prinsip dasar spektrofotometri IR adalah bahwa molekul-molekul memiliki mode getaran tertentu yang dapat diaktifkan oleh radiasi inframerah. Ketika sampel terpapar radiasi inframerah, molekul-molekul dalam sampel akan menyerap energi pada frekuensi getaran yang sesuai. Intensitas energi yang diserap oleh sampel kemudian diukur, dan pola serapan energi tersebut diplot dalam bentuk spektrum IR (Silverstein *et al.*, 2014).

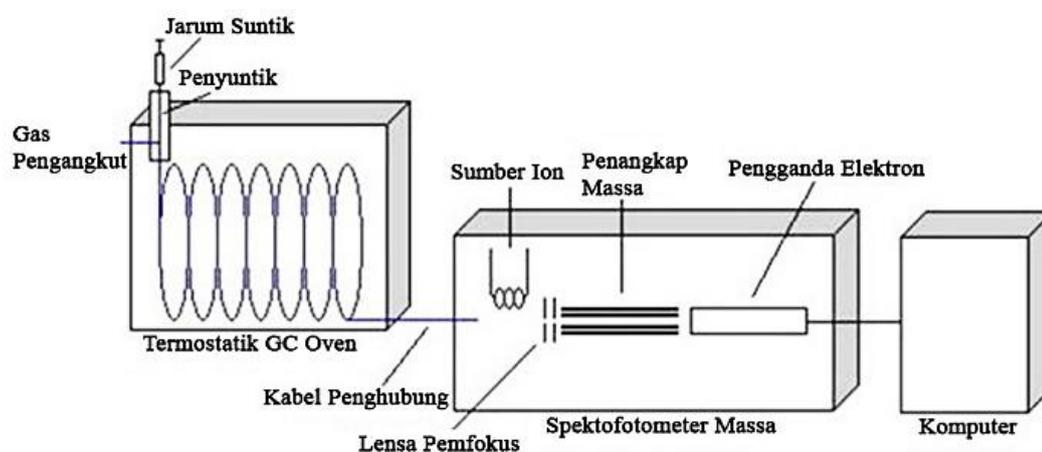
Dengan menggunakan analisis spektrofotometri inframerah terhadap ES dan ACS, diharapkan spektrum yang diperoleh dapat menunjukkan serapan gugus C=O dari asam karboksilat, keton, aldehida dan ester pada bilangan gelombang 1690-1760 cm^{-1} . Selain itu dapat menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang sekitar 3300 cm^{-1} , gugus C=C pada bilangan gelombang 3010-3095 cm^{-1} atau 675-995 cm^{-1} , gugus C-H alkana pada bilangan gelombang 2850-2970 cm^{-1} atau 1340-1470 cm^{-1} dan aromatik pada bilangan gelombang 690-900 cm^{-1} atau 3010-3100 cm^{-1} (Skoog *et al.*, 2016).



Gambar 9. Analisis IR dari ACS (Rahmad *et al.* 2020)

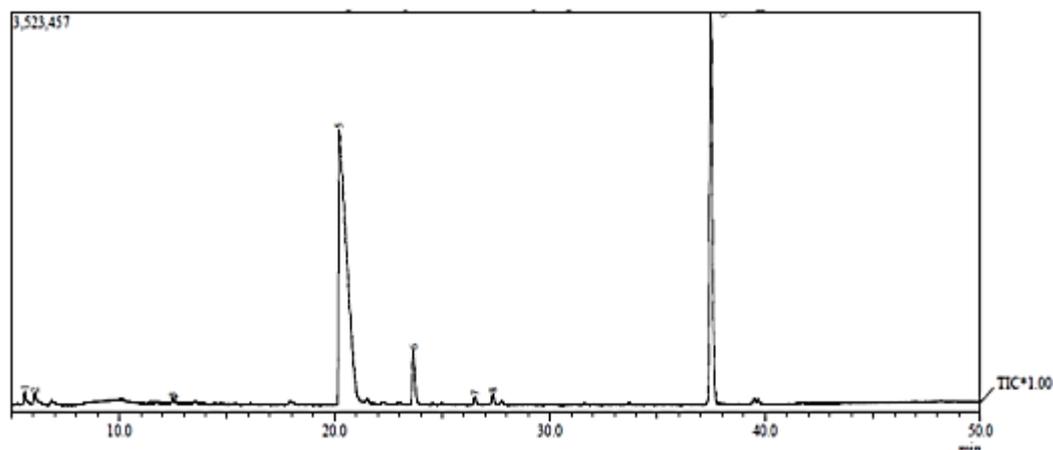
2.10.2. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Gas Chromatography merupakan teknik pemisahan komponen-komponen dalam suatu sampel berdasarkan perbedaan distribusi komponen-komponen tersebut ke dalam dua fasa, yaitu fasa gerak berupa gas dan fasa diam berupa cairan dan padatan. Tetapi, pemisahan komponen-komponen tersebut tidak berguna jika tidak dilakukan identifikasi. Oleh sebab itu, seiring berkembangnya teknologi, penggunaan *Gas Chromatography* digunakan secara bersamaan dengan instrumen lain yang berfungsi sebagai detektor seperti *Mass Spectrometry*. *Mass Spectrometry* tidak hanya dapat mendeteksi ada atau tidaknya analit, tetapi juga memberikan informasi struktur dari molekul, sehingga sering digunakan untuk mengidentifikasi senyawa (Yang *et al.*, 2020). Skema alat GC-MS dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema alat GC-MS (Simangunsong, 2018).

Prinsip kerja dari analisis GC-MS yaitu molekul-molekul gas bermuatan diseleksi berdasarkan massa dan beratnya, spektrum yang didapat dari perubahan sampel menjadi ion-ion bergerak dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan (m/e). Ionisasi menghasilkan fragmen-fragmen yang menghasilkan spektrum. Spektrum massa yang dihasilkan akan mempengaruhi sifat dari molekul, titik uap, potensial ionisasi, dan berfungsi sebagai alat penganalisis apakah kuadrupol, *time of flight*, tunggal, atau ganda. Untuk mengidentifikasi komponen kimia, produk reaksi dianalisis menggunakan gas kromatografi ditambah dengan spektrometri massa (GC-MS).



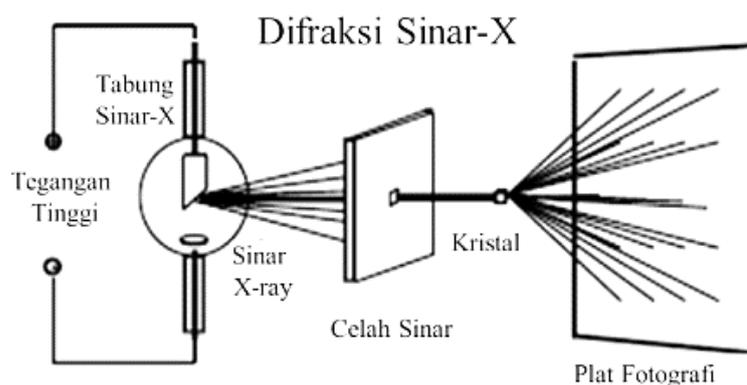
Gambar 11. Hasil analisis GC-MS pada ACS (Ardila dkk, 2015)

Tabel 2. Komponen kimia hasil analisis pada ACS (Ardila dkk, 2015)

No	Rumus Molekul	Area (%)	Waktu Retensi	Puncak Fragmentasi	Senyawa Yang Diduga
1	C ₃ H ₆ O	0,54	5,611	58, 43, 39	Aseton
2	CH ₄ O	0,54	6,075	32	Metanol
3	C ₅ H ₅ N	0,19	12,479	79, 61, 52	Piridin
4	CH ₄ O	0,07	12,583	32	Aseton
5	C ₂ H ₄ O ₂	63,77	20,202	60, 43	Asam asetat
6	C ₃ H ₆ O ₂	3,88	10,656	74, 57, 45	Asam propanoic
7	C ₄ H ₉ O ₂	0,37	26,526	88, 75, 60, 41	Asam butiric
8	C ₄ H ₇ ClO ₂	0,41	27,39	85, 56, 42, 41	Asam butanoil 4-kloro
9	C ₆ H ₆ O	30,24	37,475	94, 74, 66, 55, 39	Fenol

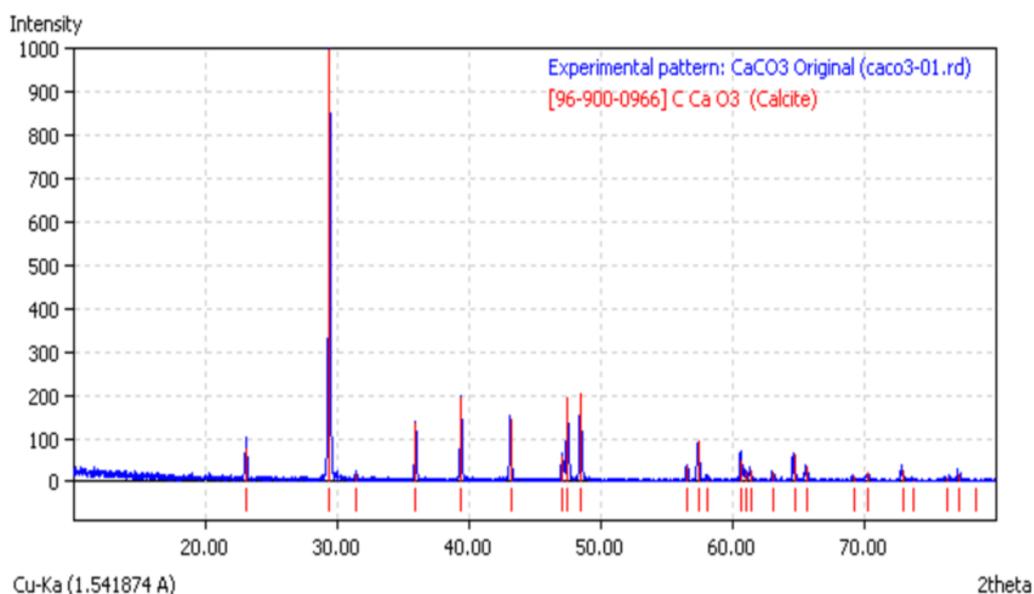
2.10.3. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah teknik karakterisasi umum untuk bahan berskala nano. Analisis sampel dengan XRD bubuk memberikan informasi penting yang melengkapi berbagai metode mikroskopis dan spektroskopi, seperti identifikasi fasa, kemurnian sampel, dan ukuran kristal (Holder *and* Schaak, 2019). Kristal merupakan susunan atom yang teratur, dan sinar-X dianggap sebagai gelombang radiasi elektromagnetik. Atom menyebarkan gelombang sinar-X, terutama melalui elektron atom. Radiasi sinar-X menunjukkan panjang gelombang yang sesuai dengan jarak interatomik biasa yang ada dalam padatan kristal, dan dengan demikian digunakan untuk menentukan ukuran domain kristal dan struktur bahan nano. XRD adalah metode untuk penentuan kristalinitas senyawa yang berbeda (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019). Skema alat XRD dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema alat XRD (Nasrollahzadeh *et al.*, 2019)

Pada penelitian yang dilakukan Bahanan (2010), terdapat beberapa puncak-puncak difraksi hasil sampel CaCO_3 . Tiga puncak tertinggi (intensitas besar) yaitu pada sudut 2θ : 29,52 ; 48,58 ; 47,58 yang ditunjukkan pada Gambar 13.

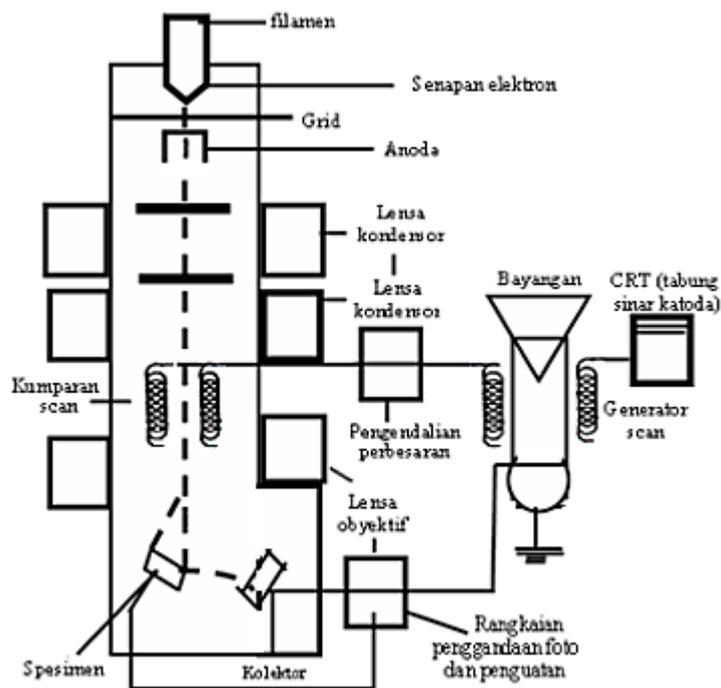


Gambar 13. Pola XRD dari CaCO_3 (Bahanan, 2010)

2.10.4. Scanning Electron Microscopy (SEM)

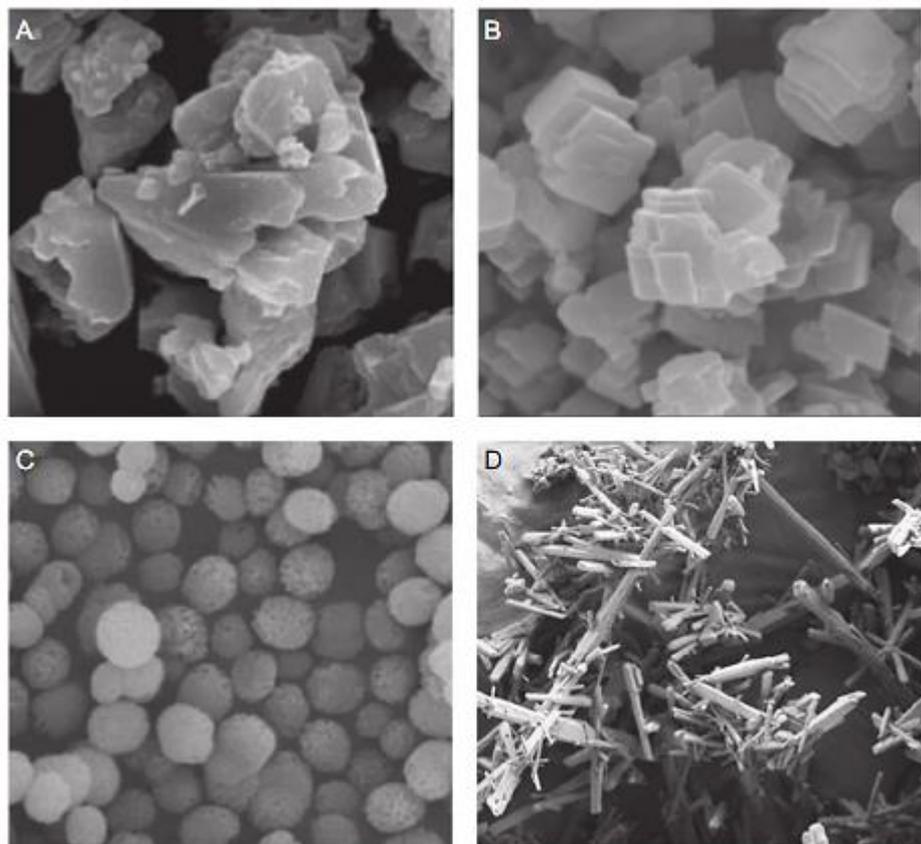
SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati dan menganalisis karakteristik struktur mikro dari bahan padat yang konduktif maupun yang nonkonduktif. Sistem pencahayaan pada SEM menggunakan radiasi elektron yang mempunyai $\lambda = 200 - 0,1 \text{ \AA}$, daya pisah (resolusi) yang tinggi

sekitar 5 nm sehingga dapat dicapai perbesaran hingga ± 100.000 kali dan menghasilkan gambar atau citra yang tampak seperti tiga dimensi karena mempunyai *depth of field* yang tinggi. Sehingga SEM mampu menghasilkan gambar atau citra yang lebih baik dibandingkan dengan hasil mikroskop optik. Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*) atau WDS (*Wavelength Dispersive X-Ray Spectrometer*). Prinsip dasar dari SEM adalah interaksi antara berkas elektron dengan spesimen padatan (Farikhin, 2016).



Gambar 14. Skema alat SEM (Farikhin, 2016)

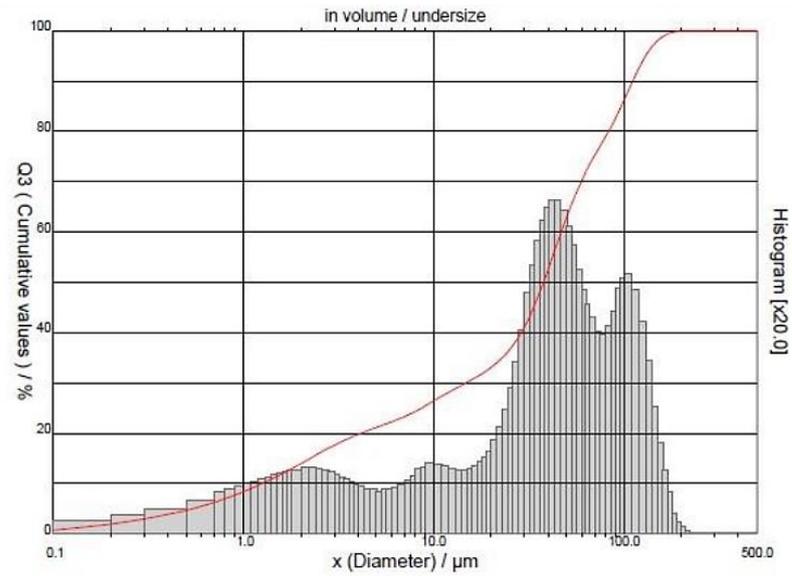
Analisis menggunakan SEM pada penelitian ini untuk mengetahui morfologi kerak CaCO_3 . Menurut Suharso *et al.* (2017) hasil analisis kerak CaCO_3 menggunakan SEM mengalami perubahan morfologi kerak, setelah penambahan inhibitor morfologi kerak CaCO_3 menjadi sedikit lebih kecil dan halus dibandingkan tanpa penambahan inhibitor yang termodifikasi.



Gambar 15. Morfologi CaCO_3 (A) fasa kalsit amorf, (B) fasa kalsit berlapis, (C) fasa vaterite, dan (D) fasa aragonite (M.M.H. Al Omari *et al.*, 2016)

2.10.5. Particle Size Analyzer (PSA)

Particle Size Analyzer (PSA) adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur ukuran partikel dalam suatu sampel. Analisis ukuran partikel penting dalam banyak bidang, termasuk ilmu material, industri makanan, farmasi, pertambangan, dan lingkungan (McCrone, 2017). PSA dapat memberikan informasi tentang distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan karakteristik lainnya yang berguna dalam proses produksi dan pengendalian kualitas. PSA umumnya menggunakan berbagai metode untuk mengukur ukuran partikel, termasuk analisis difraksi laser (*Laser Diffraction Analysis*), analisis hamburan cahaya (*Light Scattering Analysis*), analisis hamburan sudut kecil (*Small-Angle Scattering Analysis*), analisis sedimentasi (*Sedimentation Analysis*), dan teknik penghitungan partikel (*Particle Counting Techniques*). Pada Gambar 16 menunjukkan contoh hasil analisis PSA pada kristal CaCO_3 .



Gambar 16. Hasil PSA CaCO₃

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan September 2023 sampai Februari 2024. Analisis kadar air dan nilai kalori dilakukan di Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, analisis IR dilakukan di Prodi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara (FTMD) Institut Teknologi Bandung (ITB) Bandung, analisis GC-MS di Balai Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong, analisis SEM di UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung (Unila) Lampung, PSA, dan XRD dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah CaCl_2 anhidrat, Na_2CO_3 , akuades, ekstrak sabut sawit (ES), asap cair cangkang sawit (ACS), dan asam EDTA.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah ; alat-alat gelas yang sering digunakan di laboratorium, *water bath* merek *Thermoscientific* AC 200/S21 dari Amerika Serikat, gelas-gelas plastik, pengaduk magnet, spinbar, oven merek *Innotech* dari Cina, neraca analitik *Arshwoth* AA-160 dari Jepang, pH meter digital, SEM merek *Zeiss EVO MA10* dari Jerman, PSA merek SZ-100V2 dari Jepang, XRD merek *Panalytical Xpert 3 Powder* dari Inggris, IR merek *Brucker*

Alpha II dari Amerika Serikat, dan GC-MS merek *Agilent* 19091S-433 dari Amerika Serikat.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit (ES)

Buah sawit yang sudah diambil dari kebun sawit dikupas, kemudian diambil bagian sabut sawitnya dan dipotong hingga kecil-kecil, kemudian dihaluskan untuk mendapatkan ES. ES yang berupa cairan selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 30 menit. Filtrat hasil sentrifugasi disaring untuk menghilangkan endapan-endapan yang masih ada.

Pada penelitian digunakan ES dengan variasi konsentrasi 5, 15, 25, 35, dan 45%. Pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 5% dilakukan dengan cara mengencerkan 5 mL ES dengan akuades dalam labu ukur 100 mL hingga tanda tera, kemudian dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15, 25, 35, dan 45% (Suharso *et.al.*, 2010).

Untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang terdapat inhibitor ES dilakukan karakterisasi menggunakan GC-MS. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam inhibitor ES, filtrat dilakukan karakterisasi menggunakan Spektrofotometer IR (Suharso *et.al.*, 2010).

3.3.2 Pembuatan Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit (ACS)

ACS diperoleh melalui proses pirolisis. Cangkang sawit dimasukkan ke dalam reaktor dan diproses pada temperatur 300-650 °C selama 5-8 jam pembakaran. Pembakaran akan menghasilkan abu dan gas. Gas tersebut akan menghasilkan asap cair. Asap hasil pembakaran akan dikondensasi dengan bantuan kondensor berbentuk spiral melingkar. Proses pemurnian asap cair berfungsi untuk mendapatkan asap cair yang bebas dari bahan berbahaya. Setelah mendapatkan

asap cair hasil kondensasi, lalu diendapkan selama satu minggu kemudian disaring.

Pada penelitian digunakan ACS dengan variasi konsentrasi 5, 15, 25, 35, dan 45%. Pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 5% dilakukan dengan cara mengencerkan 5 mL ACS dengan akuades dalam labu ukur 100 mL hingga tanda tera, kemudian dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15, 25, 35, dan 45% (Suharso *et.al.*, 2010).

Untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang terdapat pada ACS dilakukan karakterisasi menggunakan GC-MS. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam inhibitor ACS, filtrat dilakukan karakterisasi menggunakan Spektrofotometer IR.

3.3.3 Pembuatan Inhibitor Asam EDTA

Pada penelitian digunakan asam EDTA dengan variasi konsentrasi 5, 15, 25, 35, dan 45%. Pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 5% dilakukan dengan cara mencampurkan 5 gram EDTA dengan akuades dalam labu ukur 100 mL, kemudian dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15, 25, 35, dan 45%.

3.3.4 Pembuatan Inhibitor Campuran ES dan ACS

Perpaduan ES dan ACS diuji efektivitasnya dengan memvariasikan konsentrasi campuran ES dengan ACS dimana konsentrasi ES dibuat tetap. Perbandingan konsentrasi campuran ES dan ACS dapat dilihat pada Tabel 3. Larutan campuran ES dan ACS diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 15 menit dengan suhu 90 °C dan didinginkan kemudian disimpan dalam botol gelap.

Tabel 3. Perbandingan konsentrasi campuran ES dan ACS (Suharso *et al.*, 2009).

Inhibitor ES (%)	Inhibitor ACS (%)
25	5
25	15
25	25
25	35
25	45

3.3.5 Pembuatan Bibit Kristal

Bibit kristal dibuat dengan mencampurkan larutan 1 M CaCl_2 dan larutan 1 M Na_2CO_3 masing-masing dalam 250 mL akuades, kemudian diaduk menggunakan magnetik stirer pada suhu 60 °C selama 15 menit. Kemudian endapan dipisahkan dengan kertas saring dan endapan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam (Suharso *et al.*, 2009).

3.3.6 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Laju Pertumbuhan Kristal CaCO_3

Tahapan untuk menguji pengujian ES, ACS, dan campurannya serta dibandingkan dengan asam EDTA sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal CaCO_3 dengan metode *unseeded* dan *seeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut:

3.3.6.1 Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,05 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,05 M Na_2CO_3 masing-masing dalam 300 mL akuades. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian kedua larutan tersebut dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C dan diukur nilai pH-nya.

Larutan CaCO_3 yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90°C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Kerak kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3–4 jam, dianginkan selama 2 jam dan ditimbang. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCO_3 sebesar 0,075 dan 0,1 M.

3.3.6.2 Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 dengan Penambahan Berbagai Macam Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,05 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,05 M Na_2CO_3 masing-masing dalam 300 mL inhibitor ES, ACS, dan campurannya serta asam EDTA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian kedua larutan tersebut dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C dan diukur nilai pH-nya.

Larutan CaCO_3 yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90°C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Kerak kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3–4 jam, dianginkan selama 2 jam dan ditimbang. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCO_3 sebesar 0,075 dan 0,1 M serta variasi konsentrasi ES, ACS dan campurannya serta asam EDTA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan.

3.3.6.3 Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 Tanpa Penambahan Inhibitor Pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,05 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,05 M Na_2CO_3 masing-masing dengan volume total akuades 300 mL.

Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl_2 anhidrat 0,05 M dan larutan Na_2CO_3 0,05 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C agar terbentuk kerak CaCO_3 dan diukur nilai pH-nya. Larutan CaCO_3 yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang sudah berisi 0,2 gram bibit kristal masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90°C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Kerak kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3–4 jam, dianginkan selama 2 jam dan ditimbang. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 sebesar 0,075 dan 0,1 M.

3.3.6.4 Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 dengan Penambahan Berbagai Macam Inhibitor Pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,05 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,05 M Na_2CO_3 masing-masing dengan volume total 300 mL ES, ACS dan campurannya serta asam EDTA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl_2 anhidrat 0,05 M dan larutan

Na_2CO_3 0,05 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C agar terbentuk kerak CaCO_3 dan diukur nilai pH.

Larutan CaCO_3 yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang sudah berisi 0,2 gram bibit kristal masing–masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90°C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Kerak kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3–4 jam, dianginkan selama 2 jam dan ditimbang. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 anhidrat dan Na_2CO_3 sebesar 0,075 dan 0,1 M serta variasi konsentrasi ES, ACS dan campurannya serta asam EDTA sebagai pembanding dengan konsentrasi yang sudah ditentukan.

3.3.7. Analisis Data

Data yang diperoleh berupa jumlah endapan terhadap waktu dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing–masing diplot sebagai jumlah endapan terhadap waktu menggunakan Microsoft Excel. Morfologi kerak CaCO_3 sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan SEM. Perubahan ukuran partikel dari kelimpahan CaCO_3 pada masing-masing endapan dari setiap percobaan yang dilakukan juga dianalisis dengan PSA. Struktur kristal CaCO_3 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan XRD (Suharso *et al.*, 2009).

Untuk mengetahui efektivitas inhibitor dalam menghambat laju pembentukan endapan CaCO_3 dapat menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Patel (1999) seperti di bawah ini:

$$\text{Efektivitas Inhibitor (\%)} = 100\% \times \frac{(C_a - C_b)}{(C_c - C_b)} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 4)}$$

dimana:

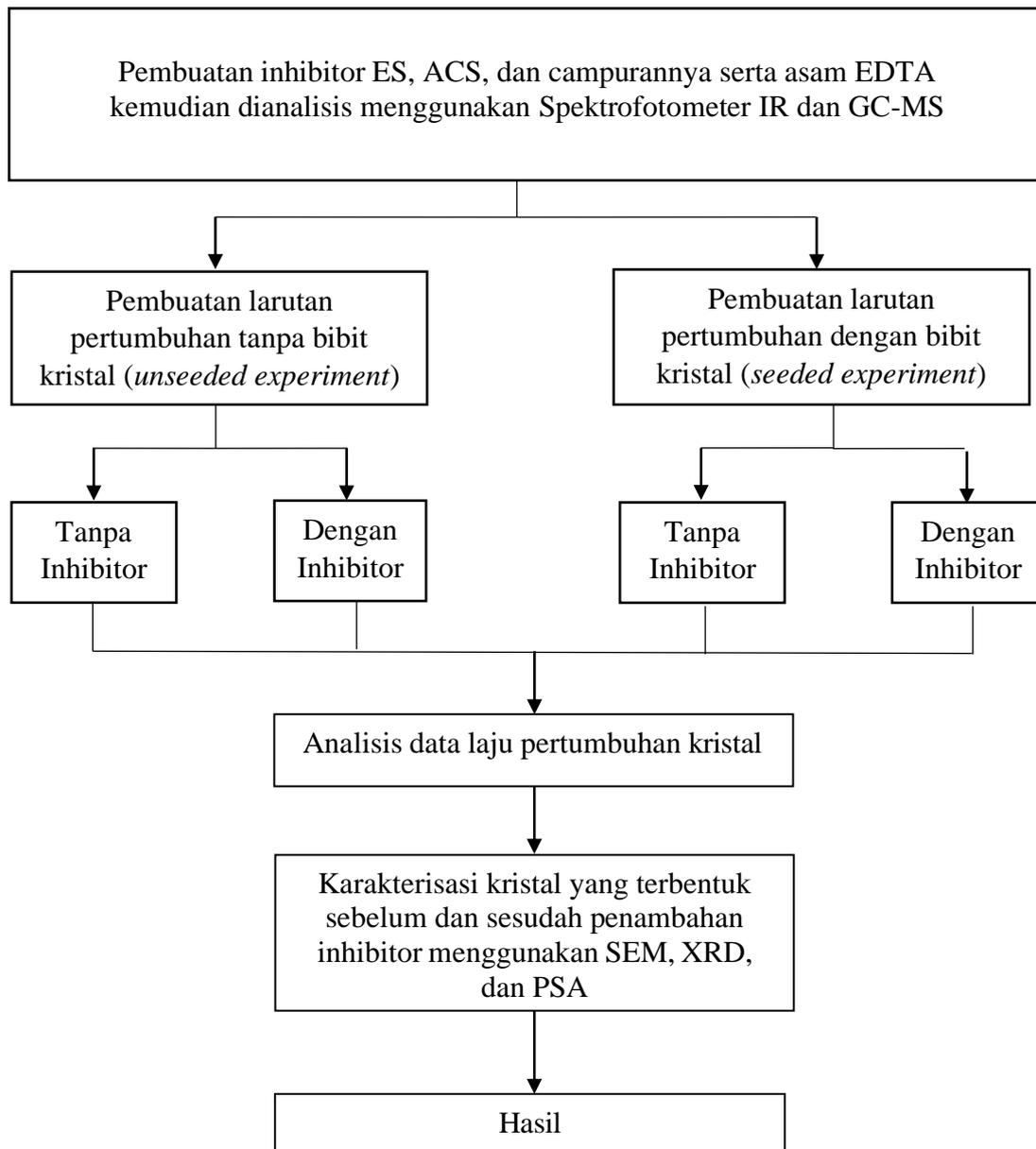
C_a = Konsentrasi CaCO_3 setelah ditambahkan inhibitor saat kesetimbangan
(g/L)

C_b = Konsentrasi CaCO_3 tanpa inhibitor saat kesetimbangan (g/L)

C_c = Konsentrasi CaCO_3 awal (g/L)

3.3.8. Alur Penelitian

Secara keseluruhan penelitian ini terangkum dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 17.



Gambar 17. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Kemampuan masing-masing inhibitor dalam mengambat laju pertumbuhan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) paling efektif pada larutan pertumbuhan dengan konsentrasi 0,05 M dan konsentrasi inhibitor 25% dengan metode *seeded experiment*. Efektivitas inhibitor ekstrak sabut sawit (ES) mencapai 65,24%, asap cair cangkang sawit (ACS) sebesar 63,11%, campuran ES dengan ACS sebesar 63,19%, dan asam EDTA sebesar 97,77%.
2. Analisis distribusi partikel menggunakan PSA menunjukkan bahwa penambahan inhibitor menghasilkan ukuran partikel yang lebih seragam dan kristal yang lebih kecil yang ditunjukkan dengan nilai *mean* masing-masing inhibitor. Nilai *mean* ukuran partikel tanpa inhibitor sebesar 3642,2 nm, ES sebesar 651,4 nm, ACS sebesar 471,7 nm, dan campuran ES dengan ACS 1023,3 nm.
3. Analisis morfologi kerak CaCO_3 menggunakan SEM menunjukkan perubahan morfologi kristal tanpa dan dengan penambahan inhibitor, Dimana perubahan morfologi kristal menjadi lebih halus dan tidak teratur pada kristal CaCO_3 dengan penambahan inhibitor.
4. Analisis struktur kristal dengan XRD menunjukkan perubahan struktur kristal CaCO_3 . Tanpa penambahan inhibitor hanya menunjukkan fasa kalsit, sedangkan dengan penambahan inhibitor menunjukkan fasa kalsit, aragonite dan vaterite.

5.2. SARAN

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran agar perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak CaCO_3 dengan menggunakan variasi waktu dan konsentrasi inhibitor, serta menggunakan variasi inhibitor yang lain baik dengan metode *unseeded experiment* maupun *seeded experiment* dalam proses pencegahan kerak. Selain itu perlu dilakukannya penelitian untuk mengetahui mekanisme secara kimia pada proses inhibisi oleh inhibitor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrazzaq, O. H., and Brink, A. 2015. Sulfuric Acid Corrosion and Its Effect on The Integrity of Oil and Gas Pipelines. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. **3**(01): 43.
- Acosta, L.D. 2018. *Oil and Gas Production Handbook: An Introduction to Oil and Gas Production*. Harvard Devold. 83-86.
- Aggarwal, S. K., and Hassanizadeh, S. M. 2015. Calcium Carbonate Scaling in Water-RO-Membrane Systems: Fundamentals and Recent Developments. *Journal of Membrane Science*. **495**: 607–647.
- Ahmad, R., Ibrahim, S., Isa, M., Nawawi, M., and Ali, M. 2017. Mineral scaling and inhibition in oil and gas pipelines: A review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. **42**: 113-125.
- Aisyah, Winda Nur. 2016. Pengaruh Imbangan Tepung Gembili (*Dioscorea esculenta* L.) dengan Tepung Terigu (*Triticum vulgare*) Terhadap Kualitas Sifat Organoleptik Cookies Gembili. *Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan*. Bandung.
- Alwa Mhd Tanza Al-alang, Fadhillah. 2020. Analisis Pengaruh Pemberian Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Nilai Parameter Batubara. *Jurnal Bina Tambang*. **5**(1): 190-199.
- Anggry, Adhe dan Subkhan. 2019. Uji Mesin Crusher Brondolan Sawit Dengan Mata Potong Circular Saw Standar. *Jurnal teknologi Manufaktur*. **11**(1): 2621-3397
- Anggun Vidyanova Mentari, Gewa Handika, Seri Maulina. 2018. Perbandingan Gugus Fungsi Dan Morfologi Permukaan Karbon Aktif Dari Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H_3PO_4) Dan Asam Nitrat (HNO_3). *Jurnal Teknik Kimia USU*. **7**(1): 16-20.
- Arifin Justaman Karo Karo, Marisa Naufa, Triyanti Adelina Silalahi. 2018. Tingkat Adsorpsi Penggunaan Adsorben Cangkang Telur ($CaCO_3$) Terhadap Logam Berat Zn. *Jurnal Teknik dan Teknologi*. **13**(26): 10-16.
- Ariyanto, E. 2013. Crystallisation and Dissolution Studies of Struvite in Aqueous Solutions. *Curtin University*. Australia.

- Asianagri. 2023. Proses Pengolahan Sawit. <https://www.asianagri.com/id/media-publikasi/id-faqs/bagaimana-minyak-kelapa-sawit-dibuat/#:~:text=Setelah%20dilepas%20dari%20tandan%2C%20buah,dari%20biji%20keras%20di%20tengah>. Diakses pada tanggal 09 Agustus 2023 pukul 22.10 WIB.
- Asmawit, Hidayanti dan Nana Supriyatna. 2011. Pemanfaatan Asap Cair Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Pengolahan Karet Mentah. *Biopropal Industri*. **02**(01).
- Asrizal R.O., D. Humaira, S. H. T. Insan, dan Zomi. 2019. Analisis Gugus Fungsi Komposit Kayu-Plastik dari Limbah Plastik dan Serbuk Gergaji Kayu Pelawan (*Tristaniopsis merguensis*). *Stannum: Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. **1**(1):6-9.
- Bahanan, Ridho. 2010. Pengaruh Waktu Sonokimia Terhadap Ukuran Kristal Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah*. Jakarta
- Badan Pusat Statistik. 2022. Luas Perkebunan Sawit di Provinsi Lampung. <https://www.bps.go.id/indicator/54/131/1/luas-tanaman-perkebunan-menurut-provinsi.html>. diakses pada tanggal 02 Februari 2023 pukul 22.10 WIB.
- Chen, G. 2011. Unusual Microstructures Formed During the Mediated Electrodeposition of Polypyrrole on Al 2024-T3 at Low Current Densities. *J Solid State Electrochem*. **8**(7):505-510.
- Cheng, Y., Hu, Z., and Ou, S. 2017. Review of Biomass Pyrolysis Oil Properties and Upgrading Research. *Energy Conversion and Management*. **148**:1366-1381.
- Chowdhury, S., and Yanful, E. K. 2014. Scale Inhibition and Dispersion in Cooling Water Systems. *Chemical Engineering Communications*. **201**(1): 81-102.
- Dussert, S.C. Guerin, M. Andersson, T. Joet, T.J. Tranbarger, M. Pizot, G. Sarah, A. omore, T.D. Gasselin, and F. Morcillo. 2013. Comparative Transcriptome Analysis of Three Oil palm Fruit Seed Tissues That Differ in Oil Content and Fatty Acid Composition. *Plant Physiology*. **162**: 1337-1358.
- Edward J. Dompeipen. 2017. Isolasi Dan Identifikasi Kitin Dan Kitosan Dari Kulit Udang Windu (*Penaeus monodon*) Dengan Spektroskopi Inframerah. *Majalah Biam Kemenperin*. **13**(01):31-41.

- Ehrlich, H. L., Newman, D. K., and Kappler, A. 2016. Environmental Microbiology: Fundamentals and Applications: Microbial Life in Extreme Environments and Astrobiology. *Springer*. **4**.
- Farikhin, F. 2016. Analisis Scanning Electron Microscope Komposit Polyester dengan Filler Karbon Aktif dan Karbon Non Aktif. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Surakarta
- Fauzi, Y. 2012. Kelapa sawit. *Penebar swadaya*. Jakarta
- Fauziati dan Eldha Sampepana. 2021. Kajian Karakteristik Kimia Asap Cair Cangkang Sawit, Tandan Kosong Sawit Sebagai Bahan Antibakteri dan Aplikasinya. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. **15**(2):338-347.
- Fauziati dan Haspiadi. 2015. Asap Cair Dari Cangkang Sawit Sebagai Bahan Baku Industri. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. **9**(2): 177-186
- Farooq, U., and Al-Tahini, A. M. 2014. The Prediction and Inhibition of Calcium Sulfate Scale in Oil and Gas Production: A review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. **4**(3):261-274.
- Fengwei Dai, Qiuying Zhuang, Hanzhong Deng, and Xun Zhang. 2023. ACS Omega. *American Chemical Society*. **2**(2):17064–17076.
- Fitriyanti Reno, M.M. Lanny W. Pandjaitan, Lukas, Gilang Bagaskara Harlis, Agus Wahyudi, Muhrinsyah Fatimura. 2023. Effect of EDTA Addition on Acidizing Treatment Process. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*. **6**(2): 95-104
- Fu, X., Li, N., Yin, Y., Zuo, Y., and Zhang, W. 2020. Development of a New Type of Corrosion Inhibitor and Its Application in Acidizing Treatment. *Petroleum Science*. **17**(6): 1807-1820.
- Gani, Abdul Haji. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. **9**(3):109-116.
- Gao, G., Fan, H., and Zhou, J. 2017. Synergistic Inhibition Effect of EDTA and Sodium Dodecyl Sulfate for Mild Steel in a CO₂⁻ Saturated Solution. *Corrosion Science*. **120**: 40-47.
- Ginayati Lisa, M.Faisal dan Suhendrayatna. 2015. Pemanfaatan Asap Cair Dari Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengawet Alami Tahu. *Jurnal Teknik Kimia USU*. **4**(3): 7-11.
- Holder, C. F. and Schaak, R. E. 2019. Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials. *ACS Nano*. **13**(7): 7359–7365.

- Hutami Ovilya Septy dan Muryani Anna. 2020. Perawatan saluran akar (PSA) satu kali kunjungan pada gigi molar pertama bawah kanan dengan restorasi endocrown resin komposit. *Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjajaran*. **32**(2).
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., and Lavine, A. S. 2017. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. *John Wiley & Sons*.
- Ita Merni Patulak, Aldo Kurniawan, Andi Yusuf. 2024. Rendemen Asap Cair Grade 3, Grade 2 dan Grade 1 dari Lima Jenis Tanaman yang Berbeda. *Bulletin LOUPE*. **20**(1): 36-41.
- Jayanudin, Endanf Suhendi, Jauharotul Uyun, dan Ali Hafid Supriatna. 2012. Pengaruh Suhu Pirolisis dan Ukuran Tempurung Kelapa Terhadap Rendemen dan Karakteristik Asap Cair Sebagai Pengawet Alami. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*.
- J. M. Thomaz. 2017. Study of The Effect of Cleaning Solutions on The Surface of Weathered Limestones. *Environmental Science and Pollution Research*. **24**(6): 5624-5638.
- Khadom, A. A., and Ali, H. M. 2018. Iron Oxide Scale Deposition in Pipelines: A Comprehensive Review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. **8**(3): 917-933.
- Kim, Y. S., and Kim, B. S. 2018. Inhibitor Selection for Scale Prevention and Inhibition Mechanism According to Water Quality in Seawater Reverse Osmosis Desalination Plant. *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*. **77**(7-8): 1840–1847.
- Kirboga, S., Oner, M. 2013. Effect of the Experimental Parameters on Calcium Carbonate Precipitation. *Chemical Engineering Transactions*. **32**.
- Kuncoro, Hadi. 2018. Senyawa Fenolik Dari Tumbuhan Kerokot. *Titah Surga Suryodiningratan MJ*. Yogyakarta
- Lestari, P. P., Kusriani, D. dan Anam, K. 2014. Anthocyanin Identification of Methanol-HCl Extract Active Fraction in Rosella (*Hibiscus sabdariffa*L.) and Its Potential as Xanthine Oxidase Inhibitor. *Jurnal Sains dan Matematika*. **22**(3): 72-78.
- Li, G., Qian, Y., Zhu, Z., and Wang, X. 2017. Mechanisms of Solid Particle Erosion of Metals: a Review. *Wear*. **11**(2): 74-97.

- Li, X., Gao, W., Xu, Y., Zhang, H., and Li, G. 2018. Scale Deposits and Their Impact on Oil Production: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. **169**: 1068-1081.
- Liu, P., and Chen, G. 2016. Scale Removal and Corrosion Control in Water Pipe by Using Acid Cleaning Agents. *Procedia Engineering*. **154**: 745-750.
- Loto, R. T. 2017. Green Inhibitors for Corrosion Protection of Metals and Alloys: An Overview. *International Journal of Electrochemical Science*. **12**(7): 6010-6034.
- Mahamuni, N. N., and Shaikh, M. M. 2017. Inorganic Scale Formation and Inhibition: A review. *Chemical Engineering Communications*. **204**(12): 1405-1423.
- Marafi, M., and Stanislav, M. 2019. Calcium Carbonate Scale Formation and Control: A Review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. **183**.
- Martinod, A., Euvrard, M., Foissy, A., Neville, A. 2007. Progressing The Understanding of Chemical Inhibition Of Mineral Scale By Green Inhibitors. *Desalination*. **220**: 345-352.
- McCrone, W. C. 2017. Particle Sizing by Microscope: Fundamentals and Applications. *McCrone Research Institute*. **23**.
- Melchers, R. E. 2019. Corrosion Mechanisms in Theory and Practice. *CRC Press*.
- Montoya PA, Forouhi N, Hambleton I, Li R. 2013. Brussels: International Diabetes Federation. *IDF Diabetes Atlas*. **6**: 11-26.
- Morad, N. A., Aziz, M. K. A., and Zin, R. M. 2006. Process Design Degumming and Bleaching Of Palm Oil. *Research Vote*. **33**(1).
- Nandi, B., Sharma, D., and Karri, V. 2017. Scaling in Industrial Pipelines: A Comprehensive Review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **157**: 1147-1161.
- Nasrollahzadeh, M., Atarod, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., and Issaabadi, Z. 2019. Plant-Mediated Green Synthesis of Nanostructures: Mechanisms, Characterization, and Applications. *In Interface Science and Technology, Elsevier Ltd*. **1**(28).
- Nasruddin, N. A., Nazeri, A. S., and Mat Taib, R. 2019. Palm Kernel Shell as a Corrosion Inhibitor for Carbon Steel. *Materials Research Express*. **6**(1).
- Neta, L. C., Neves, C. A., and Carvalho, C. E. 2015. Scaling and Corrosion Control in Industrial Water Systems. *Journal of water chemistry and technology*. **37**(3): 177-189.

- Ng, M. H., and Choo, Y. M. 2018. Palm Oil: Processing, Characterization, and Utilization in The Food Industry. *Food Engineering Series*.
- Ngando-Ebongue, G. F., Dibong, S. D., and Amvam Zollo, P. H. 2014. Physicochemical Properties of Mesocarp, Kernel, and Oil of The Oil Palm Fruit (*Elaeis guineensis*). *International Scholarly Research Notices*. doi: 10.1155/2014/404979.
- Ngatirah. 2017. Teknologi Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Sawit. *Instiper Jogja*. Yogyakarta. **7**(1).
- Oktaviandra, Rinal. Admi, Syukri, dan Hermansyah Aziz. 2015. Studi Spektroskopi Infra Merah Katalis Kobalt (II) Yang Dimobilisasi Pada Silika Modifikasi. *Jurnal Kimia Unand*. **4**(2).
- Poddar, T. K., and Das, P. 2013. Mechanism of Scale Formation and Its Impact on Industrial Operations: A Review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. **52**(45): 15875-15889.
- Putranto W.A., Khaeruman, Susanto. 2020. Pengaruh Laju Aliran, Suhu dan Aditif Asam Tartrat ($C_4H_6O_6$) Terhadap Morfologi dan Fasa Kristal Pada Kerak Kalsium Karbonat ($CaCO_3$). *Momentum*. **16**(2): 105-110.
- Raharjo, S. 2020. Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral di Dalam Pipa. *Universitas Muhamadiyah Semarang*. Semarang.
- Rahmad Fadil Siregar, Tamrin and Basuki Wirjosentono. 2020. Effect of Pyrolysis Temperature on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) and Organic Acid Compounds from Oil Palm Shell Liquid Smoke. **2**(2): 87-96.
- Rahman, M.R. 2015. *Perencanaan Modifikasi Pipa Penyalur Minyak Dengan Adanya Penambahan Platform*. Produksi. **1**(3): 285-291.
- Rendi Yuli Saputra, M. Naswir, dan Hadistya Suryadri. 2020. Perbandingan Karakteristik Asap Cair Pada Berbagai Grade Dari Pirolisis Batubara. *Jurnal Engineering*. **2**(2): 96-108.
- Roestiyah, D., Kurniawan, T., and Bahri, S. 2018. The Comparison of Calcium Carbonate Scale Inhibition by Citric Acid and Sodium Hexametaphosphate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **299**(1).
- Santoso J, Hendra E, and Siregar TM. 2019. Pengaruh Substitusi Susu Skim dengan Konsentrat Protein Ikan Nila Hitam *Oreochromis niloticus* terhadap Karakteristik Fisiko-kimia Makanan Bayi. *J. Ilmu Teknologi Pangan*. **7**(1): 87-107.

- Sarikaya, M., Alver, Ç. Ş., and Alver, A. 2015. Scale Inhibition Effect Of EDTA In Cooling Water Systems. *Journal of Materials Science and Engineering B*. **5**(10): 315-320.
- Sayuti, K. M. 2017. Potential of Palm Oil Shell Liquid Smoke as Corrosion Inhibitor for Carbon Steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. **273**(1).
- Sharma, A., Mittal, M., and Chandra, A. 2017. Homogeneous and Heterogeneous Nucleation of Water Droplets in Nanoscale Confinement. *The Journal of Physical Chemistry C*. **121**(11): 6013-6020.
- Senthilnathan, J. 2018. Metal Nanoclusters: New Dimension to Heterogeneous Nucleation in Solids. *Journal of Materials Science*. **53**(4): 2541-2570.
- Shreir, L. L., Jarman, R. A., Burstein, G. T., and Molins, R. 2013. *Corrosion*. **1**(1).
- Silverstein, R.M., Webster, F.X., and Kiemle, D.J. 2014. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Wiley. **8**.
- Simangunsong, F.M.P., Mulyani, S. and Hartiati, A. 2018. Evaluasi Karakteristik Krim Ekstrak Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) Pada Berbagai Formulasi. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*. **6**(1): 11.
- Skinner, B.J., Porter, S.C., and Park, J. 2016. Crustal Evolution and Plate Tectonics. In *The Blue Planet: An Introduction to Earth System Science*. **4**: 381-410.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., and Crouch, S.R. 2016. *Principles of Instrumental Analysis, Cengage Learning*. **7**.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., and Crouch, S. R. 2018. *Principles of Instrumental Analysis*. Cengage Learning.
- Sousa, M.F. and Bertran, C.A. 2014. New Methodology Based on Static Light Scattering Measurements for Evaluation of Inhibitors for in Bulk Crystallization. *J.Coll.Inter.Sci*. 57-64.
- Speight, J.G. 2015. Handbook of Petroleum Product Analysis. *John Wiley & Sons, Hoboken*. **182**.
- Sri, R. I., dan M. P. Sembiring. 2012. Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Gambir dengan Pelarut Etanol-Air Terhadap Laju Korosi Besi pada Air Laut. *J. Ris. Kim*. **5**(2): 165-174.

- Subiyanto Bambang, Hasan Basri, Linda Nurmala Sari, Triastuti dan Yetvi Rosalita. 2007. Komponen Kimia Cangkang Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) dan Pengaruhnya terhadap Sifat Beton Ringan. *J. Tropical Wood Science and Technology*. **5**(1).
- Suharso dan Buhani. 2012. Penanggulangan Kerak. *Lembaga Penelitian Universitas Lampung*. ISBN: 978-979-8510-52-6.
- Suharso, Buhani, dan Aprilia, L. 2013. Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena Dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Prosiding SEMIRATA FMIPA Universitas Lampung*. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, dan Tugiono. 2015. Pembuatan Senyawa Turunan Kaliksarena Untuk Inhibitor Kerak Material Anorganik. *Prosiding SEMIRATA*. Pontianak.
- Suharso, Reno, T., Endaryanto, T., and Buhani. 2017. Modification of Gambier Extracts as Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering*. **18**: 1-6.
- Suharso, Eka Setiososari, Agung Abadi Kiswandono, Buhani, Heri Satria. 2019. Aplikasi LS sebagai Green Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*. **2**(2).
- Sujadi, Hasrul Abdi Hasibuan, Hernawan Yuli Rahmadi, dan Abdul Razak Purba. 2016. Komposisi Asam Lemak dan Bilangan Iod Minyak dari Sembilan Varietas Kelapa Sawit DxP Komersial di PKKS. *J. Pen. Kelapa Sawit*. **24**(1): 1 – 12.
- Sukma Ni Made Sanjiwani, Dewa Ayu Ika Paramitha , Agung Ari Chandra Wibawa, I Made Dedy Ariawan, Fitria Megawati, Ni Wayan Trisna Dewi, Ni Putu Ayu Mirah Mariati dan I Wayan Sudiarsa. 2020. Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya Dan Analisis Dengan Fourier Transform Infrared. *Widyadari*. **21**(1): 249-262.
- Susanah, Wiwik Rita, Kadek Pater Suteja, I A RakaAstuti Asih, I Made Dira Swantara, I Wayan Gede Gunawan. 2015. Identifikasi dan uji aktivitas senyawa flavonoid dari ekstrak daun trembesi (*Albizia saman* (Jacq.) Merr) sebagai antibakteri *Escherichia coli*. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi (Senastek)*. Denpasar, Bali.
- Tang Y, Yang W, Yin X, Liu Y, Yin P, and Wang J. 2018. Investigation of CaCO_3 Scale Inhibition By PAA, ATMP, and PAPEMP. *Desalination*. **228**: 55-60.

- Tohar Umi Habibah. 2020. Pengkristalan Calcium Carbonate (CaCO_3) Dengan Penambahan Asam Sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$). *Journal of Chemical Engineering*. **1**(1): 2721-2750.
- T. El-Maazawi, R. Abdel-Basset, and H. M. El-Khair. 2016. Corrosion and scale Inhibitors for Industrial Water Systems. *Journal of Advanced Research*, **7**(5): 721-733.
- Ulfa Nadhila dan Harmin Sulistyaningsih Titah. 2020. Kajian Penambahan EDTA Pada Fitoremediasi Logam Berat Timbal. *Jurnal Teknik ITS*. **9**(2).
- Veeken, A., and Singh, R. 2013. Scale Formation and Control in Industrial Water Systems. *CRC Press*.
- Wahyuningsih, Sri. 2018. Aktivitas Antimalaria GB-1a Kayu Akar *Garcinia xanthochymus* Hook.f. ex T.Anderson. *Chimica et Natura Acta*. **6**(2): 65-73.
- Wang, H., Liu, J., and Liu, X. 2016. Formation and Control of Calcium Carbonate Scale in Hot Water Distribution Systems. *Water Research*. **88**: 519-530.
- Wang, L., Yan, Y., Xiong, L., Zhang, Z., and Li, Y. 2016. Study on scale inhibition of EDTA and nitrilotriacetic acid (NTA) for reverse osmosis. *Desalination and Water Treatment*. **57**(6): 2504-2510.
- Yang, J., Liang, Y., Wang, Q., Zhao, Y., and Yang, X. 2020. Characterization of Volatile Compounds in Chinese Rice Wine Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) and Odor Activity Values (OAVs). *Molecules*. **25**(9): 2025-2031.
- Yarranton, H. W. and Masliyah, J. H. 2017. Asphaltenes: Fundamentals and Applications. *CRC Press*.
- Zhang, X. 2016. Calcium Carbonate Scaling in Industrial Systems: Challenges, Mechanisms, and Solutions. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. **55**(17): 4802-4818.