

**STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN EKSTRAK KEMENYAN, GAMBIR,
DAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR
KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)**

(Skripsi)

Oleh

**ZUANITA MAHARANI
NPM 2117011020**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN EKSTRAK KEMENYAN, GAMBIR, DAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)

Oleh

ZUANITA MAHARANI

Kerak kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan masalah utama dalam sistem perpipaan industri karena dapat mengurangi efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh dan efektivitas campuran ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor kerak CaCO_3 serta menentukan komposisi campuran inhibitor terbaik.

Penelitian ini menggunakan metode *seeded experiment* dengan konsentrasi larutan pertumbuhan CaCO_3 yang digunakan yaitu 0,025; 0,0375; 0,050; dan 0,0625 M, dan dengan perbandingan konsentrasi inhibitor ekstrak kemenyan dan asap cair cangkang kelapa sawit dibuat tetap yakni 50 dan 250 ppm sedangkan pada ekstrak gambir dibuat bervariasi yakni 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm.

Penambahan inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,025 M dengan perbandingan konsentrasi campuran inhibitor terbaik yakni 1:6:5 menghasilkan efektivitas sebesar 63,19%. Hasil karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* dan *X-Ray Diffraction* menunjukkan adanya perubahan morfologi kristal CaCO_3 , pada kerak tanpa penambahan inhibitor terdapat fasa kalsit dan aragonit, dan setelah penambahan inhibitor terdapat adanya fasa baru yaitu fasa vaterit yang mudah larut dalam air sehingga mudah dihilangkan. Distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3 menggunakan *Particle Size Analyzer* menunjukkan adanya penurunan ukuran partikel kerak CaCO_3 , sebelum menggunakan inhibitor dengan nilai rata-rata yaitu 70,92 μm kemudian turun menjadi 64,3 μm setelah penambahan inhibitor.

Kata kunci: kemenyan, gambir, asap cair cangkang kelapa sawit, kalsium karbonat, inhibitor

ABSTRACT

THE STUDY OF ADDITION A MIXTURE OF FRANKINCENSE AND GAMBIER EXTRACT, AND PALM SHELL LIQUID SMOKE AS A CALCIUM CARBONATE (CaCO₃) SCALE INHIBITOR

By

ZUANITA MAHARANI

Calcium carbonate (CaCO₃) scale is a major problem in industrial piping systems because it can reduce operational efficiency. This research aims to examine effectiveness of a mixture of frankincense and gambier extract, and palm shell liquid smoke as a CaCO₃ scale inhibitor and to determine the best composition of the inhibitor. This research used a seeded experiment method with CaCO₃ growth solution concentrations of 0,025; 0,0375; 0,050; and 0,0625 M, and the concentration ratio of the inhibitor extract of frankincense and liquid smoke from palm kernel shells was kept constant at 50 and 250 ppm, while the gambir extract was varied at 100, 150, 200, 250, and 300 ppm. The addition of inhibitor to 0,025 M growth solution with an inhibitor ratio of 1:6:5 had the best effectiveness of 63.19%. The results of characterization using Scanning Electron Microscope, and X-Ray Diffraction show a change in the morphology of CaCO₃ crystals, there are calcite and aragonite phases before using inhibitors and after using inhibitors there is a new phase, namely the vaterite phase which is easily soluble in water, so it is easy to remove. The particle size distribution of CaCO₃ using Particle Size Analyzer shows a decrease, particle size distribution before using the inhibitor with an average value of 70,92 µm to 64,3 µm after the addition of the inhibitor.

Keywords: frankincense, gambier, palm shell liquid smoke, calcium carbonate, inhibitor

**STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN EKSTRAK KEMENYAN, GAMBIR,
DAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR
KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)**

Oleh

Zuanita Maharani

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**Judul : STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN
EKSTRAK KEMENYAN, GAMBIR, DAN
ASAP CAIR CANGKANG KELAPA
SAWIT SEBAGAI INHIBITOR KERAK
KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)**

Nama Mahasiswa : Zuanita Maharani

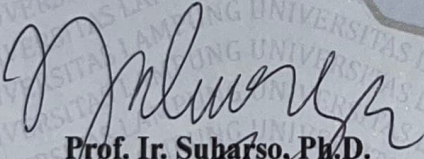
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011020

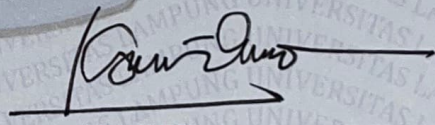
Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

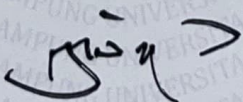
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Ir. Suharso, Ph.D.
NIP. 196905301995121001


Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.
NIP. 197007052005011003

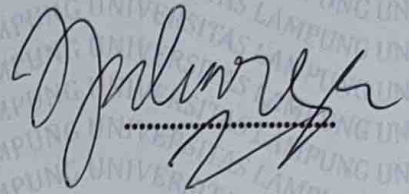
**2. Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerja Sama
FMIPA Universitas Lampung**


Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP. 197406112000031002

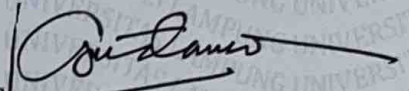
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.



Anggota : Dr. Sonny Widiarto, S.Si., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zuanita Maharani

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011020

Jurusan : Kimia

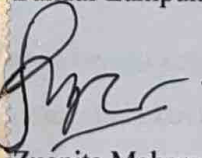
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Studi Penambahan Campuran Ekstrak Kemenyan, Gambir, dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)” adalah benar karya sendiri dan saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai kesepakatan.



Bandar Lampung, 23 Juni 2025


Zuanita Maharani
NPM. 2117011020

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Zuanita Maharani dilahirkan di Kota Metro pada tanggal 9 Februari 2003. Penulis merupakan anak bungsu dari pasangan Bapak Ngadirin A.B dan Ibu Zainab Arisandy. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Al-Qodim pada tahun 2009 dan melanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 2 Metro dan selesai pada tahun 2015. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 6 Metro pada tahun 2015 dan lulus pada tahun 2018, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 3 Metro dan lulus pada tahun 2021. Penulis aktif mengikuti kegiatan ekstrakurikuler pada saat menempuh pendidikan di SMA yang meliputi sebagai wakil ketua Kelompok Ilmiah Remaja dan anggota aktif Rohani Islam pada periode 2018/2019 dan 2019/2020. Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan mahasiswa di lingkungan Fakultas MIPA. Tahun 2021 penulis memulai aktivitas organisasi sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) kemudian menjadi anggota Biro Usaha Mandiri Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila, penulis juga mengikuti kegiatan Karya Wisata Ilmiah yang diadakan oleh BEM FMIPA Unila tahun 2021. Tahun 2023, penulis mengikuti PKK (Program Kompetisi Kampus Merdeka) BKP Magang Industri di PT HAS Environmental, Jakarta. Program

tersebut dikonversi menjadi Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul “Analisis Parameter Kimia-Fisika Kualitas Air Danau Sunter Menggunakan Instrumen Aqua Troll 500 Multiparameter Sonde Bulan November 2023” di HAS Environmental, Jakarta.

Penulis juga pernah menjadi Asisten Laboratorium Praktikum Anorganik/Fisik I, Praktikum Anorganik II, dan juga Praktikum Kimia Dasar pada tahun 2024. Penulis juga telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Kelurahan Rejomulyo, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan pada bulan Januari-Februari 2024.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang, kecuali sesuai dengan kemampuannya”

(Q.S Al-Baqarah : 286)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras dengan sungguh-sungguh (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhan-Mu lah engkau berharap”

(Q.S Al-Insyirah : 6-8)

“From spinkler splashes to fireplace ashes. If you never bleed you never gonna grow, so I gave my blood, sweat, and tears for this”

(Taylor Swift)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat beriring salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Agung Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam.

Aku persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tuaku Tersayang dan Keluargaku Tercinta

Atas segala doa yang tak henti dipanjatkan, cinta yang tak pernah habis dibagikan, serta pengorbanan dan ketulusan dalam membimbing setiap langkah hidupku. Terima kasih telah menjadi sandaran, penyemangat, dan tempat pulang yang paling tulus sepanjang perjalanan ini.

Seluruh Keluarga Besar Kimia 2021

Atas kebersamaan, semangat, dan dukungan yang tak ternilai sepanjang perjalanan perkuliahan ini.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Kimia

Tempat bernaung dan menimba ilmu untuk bekal kehidupan dunia dan akhirat.

SANWANCANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, karunia, serta ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Skripsi yang berjudul “**Studi Penambahan Campuran Ekstrak Kemenyan, Gambir, dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)**” disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, para sahabat, serta seluruh umat beliau. Semoga kita termasuk golongan yang mendapatkan syafa’atnya di hari akhir. Aamiin yaa rabbal ‘aalamiin.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai tantangan dan kesulitan, baik dalam penyusunan isi maupun pemilihan kata. Namun, berkat doa, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan teriring doa penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Cinta pertama dan pintu surga penulis, Bapak dan Mamak. Terima kasih karena dengan penuh rasa sayang dan cinta kasih selalu memberikan doa, dukungan, semangat, motivasi, dan materi selama penulis menempuh pendidikan. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi, memberkahi, memberikan rezeki, kesehatan, dan umur yang panjang agar bisa selalu mendampingi dan menyaksikan perjalanan hidup Nita untuk membahagiakan kalian kelak di dunia maupun di akhirat, *Aamiin yaa rabbal ‘aalamiin*.

2. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan pembimbing akademik (PA). Penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah memudahkan dan memberikan arahan, ilmu, saran, nasihat, keikhlasan, serta kesabaran dalam proses pengerjaan skripsi. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan Bapak dan memberikan kerberkahan kepada Bapak, *Aamiin yaa rabbal 'aalamiin*.
3. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku dosen pembimbing II. Penulis banyak mengucapkan banyak terima kasih karena telah memudahkan, melancarkan, dan memberikan bimbingan serta arahan dalam penyusunan skripsi. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan Bapak di dunia dan akhirat, *Aamiin yaa rabbal 'aalamiin*.
4. Bapak Dr. Sonny Widiarto, M.Sc. selaku dosen pembahas. Penulis mengucapkan banyak terima kasih karena telah memberikan bimbingan, arahan, dan nasihat yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan Bapak di dunia dan akhirat, *Aamiin yaa rabbal 'aalamiin*.
5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas segala ilmu, motivasi, pengalaman, serta nasihat yang diberikan selama proses perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan bapak dan ibu.
8. Seluruh civitas dan akademik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung atas dukungan dan bantuan kepada penulis.
9. Keluarga penulis yakni kakak, ipar, dan keponakanku. Terima kasih karena dengan sepenuh hati selalu memberikan kasih sayang, motivasi, semangat, serta kebahagiaan dalam kehidupan penulis. Semoga Allah SWT memberikan perlindungan dan kerberkahan dalam kehidupan kalian, *Aamiin yaa rabbal 'aalamiin*.

10. *Bolby*, selaku sahabat dan teman seperjuangan penulis yaitu Ainun Fariyah, Fera Agistarika, Mayang Aprilian, Nanda Putri, Nurul Natasha, dan Rachel Sihombing. Terima kasih telah mau berjuang bersama hingga ada di titik ini, juga telah memberikan dukungan sepenuh hati, nasihat yang bermanfaat, dan selalu kebersamaan penulis dalam perkuliahan maupun pengerjaan skripsi. Semoga persahabatan ini tetap terjaga sampai kapanpun, *Aamiin yaa rabbal 'aalamiin*.
11. Rekan seperbimbingan penulis yaitu Ainun, Rachel, Nadira, dan Joanda. Penulis mengucapkan terima kasih karena telah mau berjuang bersama dan memberi bantuan selama penelitian maupun proses penulisan skripsi.
12. Sahabat seperjuangan penulis sejak SMA yaitu Damar, Hastin, Jati, Rizkitha, Rizky, Pupi, dan Reyka. Terima kasih telah memberikan banyak bantuan dan dukungan kepada penulis.
13. Seluruh keluarga besar mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung Angkatan 2021 yang tidak bisa disebutkan namanya satu-persatu. Terima kasih telah memberikan semangat dan bantuannya secara moril maupun materil kepada penulis selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan. Semoga kita dapat bertemu di kemudian hari dengan versi terbaik dari diri kita masing-masing.
14. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih pada diri sendiri. Terima kasih telah mau berjuang dan tetap berusaha semaksimal mungkin hingga saat ini. Terima kasih karena tidak pernah menyerah dan tetap menyelesaikan dengan baik sampai akhir, sesulit apapun prosesnya. Berbahagialah selalu dimanapun kamu berada. Apapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri. *“Long story short, I survived”*.

Bandar Lampung, 23 Juni 2025

Penulis

Zuanita Maharani

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Proses Pengendapan Senyawa Anorganik pada Peralatan Industri.....	5
2.2. Kerak (<i>Scale</i>)	6
2.3. Mekanisme Pembentukan Kerak	7
2.4. Kalsium Karbonat (CaCO_3)	8
2.5. Kristal.....	10
2.5.1. Faktor Pembentukan Kristal	10
2.6. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak.....	12
2.7. Gambir	14
2.8. Kemenyan	15
2.9. Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit.....	17
2.10. Metode <i>Seeded Experiment</i>	19
2.11. Analisis Menggunakan FT-IR, GC-MS, PSA, XRD dan SEM	20
2.11.1. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	20
2.11.2. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	22
2.11.3. <i>Gas Chromatography - Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	23
2.11.4. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	26
2.11.5. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	27
III. METODE PENELITIAN.....	29
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	29
3.2. Alat dan Bahan.....	29
3.3. Prosedur Penelitian	30
3.3.1. Pembuatan Inhibitor Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit	30
3.3.2. Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Kemenyan dan Gambir ...	31

3.3.3.	Pembuatan Inhibitor dari Campuran Ekstrak Kemenyan, Gambir, dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit	32
3.3.4.	Pembuatan Bibit Kristal.....	33
3.3.5.	Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kerak CaCO_3	33
3.3.6.	Analisis Data.....	34
3.3.7.	Diagram Alir	35
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1.	Uji Ketahanan Inhibitor	37
4.2.	Analisis Inhibitor Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)...	39
4.3.	Analisis Inhibitor Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS)	40
4.3.1.	Analisis GC-MS Inhibitor Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit	41
4.3.2.	Analisis GC-MS Inhibitor Campuran Ekstrak Kemenyan dan Gambir	43
4.4.	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaCO_3 Tanpa Penambahan Inhibitor dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	46
4.4.	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaCO_3 dengan Penambahan Inhibitor dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	47
4.4.1.	Inhibitor Ekstrak Kemenyan	48
4.4.2.	Inhibitor Ekstrak Gambir	49
4.4.3.	Inhibitor Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit.....	51
4.4.2.	Inhibitor Campuran Ekstrak Kemenyan dan Gambir	52
4.4.2.	Inhibitor Campuran Ekstrak Kemenyan, Gambir, dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit.....	59
4.5.	Analisis Kalsium Karbonat (CaCO_3).....	60
4.6.	Karakterisasi Permukaan Kerak CaCO_3 Menggunakan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	63
4.7.	Karakterisasi Struktur Kerak CaCO_3 Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	65
4.8.	Analisis Distribusi Ukuran Partikel CaCO_3 Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	68
4.9.	Mekanisme Penghambatan Kerak oleh Inhibitor.....	69
V.	SIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1.	Simpulan	71
5.2.	Saran	72
	DAFTAR PUSTAKA.....	74
	LAMPIRAN.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil analisis komponen senyawa pada asap cair cangkang kelapa sawit.....	19
2. Sifat fisik dan kimia asap cair cangkang kelapa sawit.....	19
3. Komponen kimia ekstrak kemenyan.....	24
4. Komponen kimia ekstrak gambir	25
5. Kandungan kimia asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit dengan instrumen GC-MS	25
6. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak kemenyan (K) dan gambir (G)...	32
7. Komponen kimia asap cair cangkang kelapa sawit pada penelitian ini	41
8. Komponen asap cair cangkang kelapa sawit.....	42
9. Komponen senyawa ekstrak kemenyan dan gambir	44
10. Perbandingan nilai pH larutan pertumbuhan dengan konsentrasi inhibitor	48
11. Persentase efektivitas inhibitor ekstrak kemenyan 50 ppm pada berbagai variasi larutan pertumbuhan.....	48
12. Perbandingan nilai pH larutan pertumbuhan dengan konsentrasi inhibitor ekstrak gambir	50
13. Persentase efektivitas inhibitor ekstrak gambir pada berbagai variasi konsentrasi inhibitor dan larutan pertumbuhan	51
14. Perbandingan nilai pH larutan pertumbuhan dengan konsentrasi inhibitor asap cair cangkang kelapa sawit 250 ppm.....	51
15. Persentase efektivitas inhibitor asap cair cangkang kelapa sawit 250 ppm pada berbagai variasi larutan pertumbuhan	52
16. Perbandingan nilai pH inhibitor campuran kemenyan dan gambir.....	53

17. Perbandingan nilai pH larutan pertumbuhan dengan variasi perbandingan konsentrasi inhibitor	53
18. Persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,025 M	54
19. Persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,0375 M	56
20. Persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,050 M	57
21. Persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,0625 M	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pembentukan kerak pada pipa produksi minyak dan gas	7
2. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal.....	14
3. Tanaman gambir	15
4. Skema pirolisis	17
5. Spektrum FTIR asap cair cangkang kelapa sawit	18
6. Distribusi partikel dari kristal CaCO_3	23
7. Morfologi SEM dari kristal CaCO_3 0,050 M.....	28
8. Gambar SEM kristal kalsium karbonat: tanpa inhibitor (a, b), dengan inhibitor: 10 ppm (c, d), 30 ppm (e, f), 50 ppm (g, h), 70 ppm (i, k), 100 ppm (l, m)	28
9. Diagram alir penelitian.....	36
10. Larutan induk 1000 ppm inhibitor setelah didiamkan selama 3 bulan (a) ekstrak gambir (b) ekstrak kemenyan (c) campuran ekstrak kemenyan dan gambir (d) asap cair CKS (e) campuran ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair CKS...	38
11. Spektrum FTIR inhibitor (a) asap cair CKS (b) ekstrak kemenyan (c) ekstrak gambir	39
12. Kromatogram asap cair cangkang kelapa sawit	41
13. Kromatogram campuran ekstrak kemenyan dan gambir	43
14. Grafik laju pertumbuhan kerak CaCO_3 tanpa penambahan inhibitor	47
15. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi 0.025 M dengan variasi perbandingan inhibitor campuran kemenyan dan gambir .5416. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi 0.0375 M dengan variasi perbandingan inhibitor campuran kemenyan dan gambir	55

17. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi 0.050 M dengan variasi perbandingan inhibitor campuran kemenyan dan gambir	56
18. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi 0.0625 M dengan variasi perbandingan inhibitor campuran kemenyan dan gambir	58
19. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 0.025 M tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor campuran ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit.....	59
20. Larutan pertumbuhan CaCO_3 0,025 M (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, asap cair cangkang kelapa sawit.....	61
21. Endapan larutan pertumbuhan CaCO_3 0,025 M (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, asap cair cangkang kelapa sawit	61
22. Perbandingan larutan pertumbuhan tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan beberapa inhibitor	62
23. Perbandingan kerak CaCO_3 (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit.....	62
24. Morfologi kerak CaCO_3 pada konsentrasi 0,025 M dengan perbesaran 2000x dan 5000x tanpa penambahan inhibitor	64
25. Morfologi kerak CaCO_3 pada konsentrasi 0,025 M perbesaran 2000x dan 5000x dengan penambahan inhibitor campuran ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit	64
26. Difraktogram kerak CaCO_3 (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit.....	66
27. Grafik perbandingan distribusi partikel kerak CaCO_3 0,025 M tanpa inhibitor dan dengan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit	68
28. Mekanisme penghambatan kerak CaCO_3 oleh inhibitor.....	70

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri yang sedang berkembang di Indonesia telah menjadi pendorong utama pertumbuhan ekonomi di negara ini. Sektor-sektor penting, seperti minyak dan gas, pengolahan air, industri kimia, serta berbagai industri manufaktur lainnya, sudah menjadikan sistem perpipaan sebagai komponen utama untuk mentransfer berbagai jenis zat dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Sistem perpipaan sangat efektif dan efisien, terutama dalam menempuh jarak yang jauh melalui laut maupun darat (Martaningtyas dan Ariesyady, 2018). Penggunaan sistem pipa ini, meskipun sangat efektif dan efisien bukan berarti tidak memiliki permasalahan yang harus dihadapi. Masalah yang sering dijumpai dalam sistem ini adalah terbentuknya kerak (*scale*). Kerak didefinisikan sebagai pembentukan endapan atau kerak yang berasal dari mineral garam terlarut dalam air pada suatu media kontak tertentu (Permana dkk, 2017).

Prinsip pembentukan kerak terjadi secara alami dalam suatu aliran yang diakibatkan oleh adanya reaksi kimia antara kandungan zat yang tidak dikehendaki yang terdapat dalam air. Ion-ion yang dapat larut dalam air, seperti kalsium (Ca), karbonat (CO_3), dan sulfat (SO_4), dapat membentuk kerak. Kerak ini dapat memperkecil diameter pipa dan sistem perpipaan, sehingga dapat mengurangi produksi (Sari dan Gisting, 2019). Kerak dapat terjadi pada peralatan industri yang terletak pada turbin serta pemipaan, dan pada umumnya terkandung silika pada endapan kerak (Noviyanto, 2019). Menurut Suharso dan Buhani (2019) kalsium karbonat (CaCO_3) termasuk salah satu endapan penyusun

kerak yang menjadi masalah serius pada sebagian besar proses industri. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi pembentukan, pertumbuhan, dan pengendapan kerak meliputi perubahan tekanan, laju aliran, suhu, pencampuran dua jenis air dengan komposisi mineral yang tidak cocok, kondisi supersaturasi, penguapan akibat perubahan konsentrasi, pengadukan (efek dari turbulensi), durasi kontak antara partikel padat dengan permukaan media pengendapan, serta perubahan pH air (Noviyanto, 2019).

Pencegahan kerak dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti penambahan asam, penurunan pH larutan, penggunaan senyawa-senyawa anorganik, polimer larut air, asam amino, serta penerapan inhibitor kerak (Suharso dan Buhani, 2012). Penggunaan beberapa metode tersebut memiliki kekurangan seperti, kurang efektif, biaya yang cukup besar, dan penanganannya yang cukup berbahaya. Berdasarkan beberapa kelemahan dari metode-metode tersebut maka dikembangkan suatu metode alternatif lain yaitu dengan menambahkan suatu inhibitor kerak yang ramah lingkungan (Jotho *et al.*, 2013). Salah satu prinsip kerja inhibitor kerak adalah dengan membentuk senyawa kompleks (kelat) antara inhibitor dan unsur-unsur penyusun kerak. Senyawa kompleks ini akan larut dalam air, sehingga menghambat pertumbuhan kristal berukuran besar dan mencegah kristal kerak menempel pada permukaan pipa (Usamah, 2019).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, pertumbuhan kerak dapat dihambat dengan menggunakan inhibitor yang aman bagi lingkungan. Contoh tanaman yang dapat digunakan untuk inhibitor kerak yaitu kemenyan dan gambir. Berdasarkan penelitian Suharso *et al* (2010), diketahui bahwa asam tanat (tanin) yang terkandung dalam tanaman gambir dapat berfungsi sebagai inhibitor pertumbuhan kerak dengan efektivitas mencapai 60%. Tanaman kemenyan juga telah diteliti mengandung senyawa asam benzoat dan asam sinamat yang berperan sebagai inhibitor pembentukan kerak CaCO_3 , dengan efektivitas yang bervariasi antara 12% hingga 77%, tergantung pada konsentrasi inhibitor yang digunakan (Suharso *et al.*, 2017).

Inhibitor kerak organik bahan alam yang digunakan tidak hanya ekstrak campuran daun kemenyan dan gambir, asap cair cangkang kelapa sawit juga dapat

digunakan sebagai inhibitor kerak. Berdasarkan data yang diperoleh dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2019, Indonesia menghasilkan sekitar 26 juta ton cangkang kelapa sawit. Total tersebut menunjukkan bahwa sekitar 15 juta ton berasal dari wilayah Sumatra dan Kalimantan (Handayani and Listiana, 2023). Limbah padat dari cangkang kelapa sawit dapat diatasi dengan mengolahnya menjadi produk asap cair melalui proses pirolisis. Asap cair diperoleh dari hasil kondensasi asap yang melalui proses pirolisis suatu bahan pada suhu sekitar 400 °C. Asap cair ini mengandung berbagai komponen kimia, termasuk fenol, aldehida, keton, asam organik, alkohol, dan ester (Sumini dan Bahri, 2021). Asap cair dari cangkang kelapa sawit digunakan sebagai zat aditif yang dicampur dengan ekstrak kemenyan dan gambir. Asap cair ini diketahui mengandung senyawa yang dapat mencegah pertumbuhan mikroorganisme, seperti jamur, karena mengandung senyawa fenolik, asam-asam seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat, serta gugus karbonil (Pratama dan Sa'diyah, 2022).

Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini mempelajari efektivitas campuran dari ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor pembentukan kerak CaCO_3 dengan menggunakan metode *seeded experiment*. Metode ini termasuk dalam metode pembentukan kristal dengan menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Tujuannya adalah untuk mempercepat proses kristalisasi, karena permukaan bibit kristal yang lebih luas akan memfasilitasi pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Langkah selanjutnya dilakukan analisis laju pertumbuhan kerak menggunakan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit menggunakan berbagai instrumen seperti analisis gugus fungsional dalam campuran inhibitor menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) dan untuk mengetahui kandungan senyawa kimianya menggunakan *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS). Analisis morfologi CaCO_3 dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan analisis untuk mengetahui bentuk kristal CaCO_3 menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh penambahan campuran ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor untuk menghambat pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan metode *seeded experiment*.
2. Menentukan komposisi campuran optimum dari ketiga bahan inhibitor yang memberikan efektivitas inhibisi tertinggi.
3. Mengetahui efektivitas campuran ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor kerak CaCO_3 melalui analisis data dan karakterisasi menggunakan SEM, XRD, dan PSA.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh dari penambahan ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor kerak kalsium karbonat (CaCO_3) yang efektif sehingga bisa dikembangkan lebih lanjut untuk mencegah pengerasan yang terjadi pada peralatan-peralatan industri serta mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan dari proses pengerasan tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Pengendapan Senyawa Anorganik pada Peralatan Industri

Pengendapan mineral anorganik dapat berasal dari air formasi yang dihasilkan bersama minyak dan gas (Alighiri *et al.*, 2018). Konsentrasi larutan yang tinggi memiliki kandungan ion-ion terlarut yang tinggi juga, baik itu berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} dan CO_3^{2-}), ketika harga kelarutan sudah terlampaui maka senyawa itu tidak larut lagi tetapi akan terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padatan kemudian mengalami proses pengendapan mineral. Kondisi ini dapat terjadi dalam proses desalinasi termal maupun membran, selama reaksi berlangsung akan terjadi perubahan angka kelarutan dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur. Hal ini akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air formasi, sehingga akan menyebabkan terjadinya reaksi kimia antara kation dan anion dengan membentuk suatu endapan berupa kristal (Sari, 2017).

Proses pengendapan senyawa anorganik ini dapat terjadi pada peralatan industri yang melibatkan air dalam sistem operasinya, seperti di industri minyak dan gas, industri yang menggunakan proses desalinasi, ketel uap, serta berbagai industri kimia lainnya. Padatan yang terbentuk akan mengendap di dalam pipa atau pada permukaan alat penukar panas, dan sering kali mengeras menjadi kerak yang dapat mengganggu kinerja peralatan (Amor and Tlili, 2013).

2.2. Kerak (*Scale*)

Kerak dapat didefinisikan sebagai suatu endapan yang terbentuk akibat adanya kristalisasi ion mineral yang larut dalam air dan disebabkan oleh adanya senyawa pembentuk endapan di dalam air yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan (Musnal, 2013). Terbentuknya kerak terjadi ketika larutan menjadi lewat jenuh, hal ini menyebabkan molekul-molekul membentuk kristal yang akan larut kembali tetapi dalam ukuran yang lebih kecil dari ukuran partikel kecil. Kristal yang terbentuk cenderung memiliki muatan ion lebih rendah sehingga lebih mudah menggumpal dan terbentuklah kerak (Suharso dan Buhani, 2015). Kerak pada industri biasanya ditemukan pada turbin dan sistem perpipaan, dengan silika yang menjadi komponen utama dari kerak tersebut (Noviyanto, 2019). Pembentukan kerak yang terjadi pada sistem perpipaan dalam industri maupun rumah tangga akan menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis, ini disebabkan oleh kerak yang menyumbat aliran air pada pipa dan menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Keberadaan kerak pada pipa industri dan sistem perpipaan rumah tangga menimbulkan berbagai masalah teknis dan ekonomi, karena kerak dapat menyumbat aliran air dan menghambat perpindahan panas pada peralatan penukar panas (Rahayu *et al.*, 2021).

Endapan kerak yang mengerak pada pipa dapat mengurangi diameter dan menghambat aliran fluida dalam sistem tersebut. Kerak pada pipa industri seringkali terbentuk karena jumlah senyawa pembentuk kerak dalam air melebihi kelarutannya pada kondisi kesetimbangan (Wilastari dkk., 2021). Beberapa komponen khas dari kerak yang sering dijumpai pada industri adalah magnesium karbonat (MgCO_3), kalsium karbonat (CaCO_3), kalsium sulfat (CaSO_4), turunan dari kalsium bikarbonat, kalium fosfat, dan sejumlah besar ortofosfat (Suharso dan Buhani, 2019). Kerak dapat terdiri dari campuran bahan organik maupun anorganik, yang terbentuk karena unsur-unsur seperti natrium, kalsium, klorida, dan sulfat yang melebihi kelarutannya dalam keadaan supersaturasi. Adanya konsentrasi unsur-unsur ini yang melebihi batas kelarutan, maka kerak akan menempel dan menetap di permukaan pipa (Raharjo, 2020). Gambar 1 adalah contoh kerak yang terbentuk pada pipa industri.



Gambar 1. Pembentukan kerak pada pipa produksi minyak dan gas (Wilastari dkk., 2021).

2.3. Mekanisme Pembentukan Kerak

Menurut Raharjo (2020) mekanisme pembentukan kerak dapat dikelompokkan menjadi enam langkah sebagai berikut:

1. Tahap pembentukan inti kristal (nukleasi)

Tahap awal kristalisasi, terjadi ketika ion-ion dalam fluida akan bereaksi secara kimia untuk membentuk inti kristal. Inti kristal yang sangat kecil ini tidak akan mengendap dalam proses aliran. Proses inisiasi kristalisasi dapat diamati melalui penurunan nilai konduktivitas yang signifikan, waktu pertama kali nilai konduktivitas berubah itulah yang disebut dengan waktu induksi. Tahap ketika waktu induksi tercapai, ketahanan *fouling* cenderung meningkat seiring waktu menurut beberapa metode. Pembentukan kristal dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan mekanismenya, yaitu nukleasi homogen (*homogenous nucleation*) dan nukleasi heterogen (*heterogenous nucleation*).

2. Tahap pertumbuhan inti

Tahap pertumbuhan terjadi ketika inti kristal menarik molekul-molekul lain, sehingga ukurannya bertambah. Awalnya, inti ini tumbuh menjadi partikel berukuran $0,001 - 0,1 \mu$ (ukuran koloid), dan kemudian terus berkembang hingga mencapai ukuran $0,1 - 10 \mu$ (kristal halus). Kristal mulai mengendap saat ukurannya lebih dari 10μ (kristal kasar).

3. Tahap pengendapan kristal ke permukaan

Proses pengendapan kristal kasar ke permukaan dapat terjadi melalui beberapa mekanisme: (i) difusi, (ii) sedimentasi, (iii) turbulensi, dan (iv) termoforesis.

Difusi berperan penting dalam transportasi gas dan partikel mineral dalam pergerakan, sedangkan sedimentasi penting dalam pengendapan partikel padat ketika kecepatan fluida rendah. Turbulensi menyebabkan pusaran yang mampu menembus lapisan laminar dan mengangkut material padat ke permukaan, sementara termoforosis terjadi pada partikel berukuran di bawah 5 mikron dan paling dominan di sekitar 0,1 mikron.

4. *Attachment* ke permukaan

Attachment adalah proses di mana kristal kerak menempel pada permukaan, terutama pipa. Namun, tidak semua kerak yang dibawa ke permukaan benar-benar menempel. Sifat-sifat partikel (kepadatan, elastisitas, permukaan dan kondisi) dan sifat permukaan (kekasaran dan jenis material) permukaan juga dapat memainkan peran penting dalam mekanisme ini.

5. *Removal* dari permukaan

Kristal yang tidak mengalami *attachment* ke permukaan dapat mengalami *removal*. *Removal* merupakan proses penghilangan partikel kristal dari permukaan pipa yang dilakukan oleh beberapa mekanisme, termasuk partikel *spalling* (yang disebabkan oleh gaya geser dan semburan turbulan), resolusi material deposit dan erosi.

6. *Aging Deposit*

Aging deposit merupakan proses penuaan deposit kristal yang dapat menyebabkan ketebalan deposit bertambah seiring waktu. Bertambahnya waktu maka, kekuatan mekanik deposit bisa berubah akibat perubahan struktur kristal atau komposisi kimianya, yang bisa memperkuat atau memperlemah deposit kerak.

2.4. Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium karbonat (CaCO_3) adalah senyawa yang banyak ditemukan dalam batuan kapur dan merupakan mineral paling sederhana yang tidak mengandung silikon. Senyawa ini merupakan sumber utama untuk pembuatan kalsium secara komersial. Endapan halus kalsium karbonat yang dibutuhkan industri dapat

diperoleh melalui proses kimia, sementara bentuk fisiknya umumnya didapat dari batuan gamping. Karbonat adalah jenis batuan mineral yang terbentuk di perairan laut dangkal yang hangat, di mana sinar matahari dapat menembus hingga kedalaman air dan juga dapat mengendap di danau air tawar. Air panas yang mengandung CaCO_3 mencapai permukaan bumi (misalnya melalui mata air panas), air tersebut akan menguap dan meninggalkan mineral kalsit sebagai produk (Mulyaningsih, 2018).

Mineral kalsit (*calcite*) adalah bentuk kalsium karbonat yang paling umum dan sering ditemukan. Kalsit dapat dibedakan dengan mudah dari aragonit, yaitu bentuk lain dari kalsium karbonat berdasarkan beberapa karakteristik fisiknya. Mineral kalsit (CaCO_3) memiliki variasi warna, termasuk putih mengkilap, kuning, kuning kecokelatan, dan putih krem. Kalsit dapat dikenali dari goresan putih, kilap kaca atau mutiara, transparansi, kekerasan 3 pada skala Mohs, dan berat jenis 2,7. Kalsium karbonat (CaCO_3) suatu zat padat yang tidak berbau, tidak berasa, dapat terurai pada suhu 825°C , tidak beracun, dan larut dalam larutan asam dengan melepas CO_2 . Kalsium karbonat juga banyak terdapat pada stalaktit dan stalagmit di sekitar area pegunungan. Kalsium karbonat memiliki tiga bentuk kristal utama: kalsit (rombohedral), aragonit (orthorombik), dan vaterit (heksagonal) (Ningsih, 2016).

Kerak kalsium karbonat dapat terbentuk melalui dua reaksi utama dalam air. Salah satunya adalah dengan mencampurkan kalsium klorida (CaCl_2) dan natrium karbonat (Na_2CO_3) dalam larutan, yang menghasilkan endapan kalsium karbonat (CaCO_3) dan natrium klorida (NaCl). Endapan kalsium karbonat yang terbentuk berwarna putih dan memiliki bentuk amorf. Proses ini melibatkan ion kalsium (Ca^{2+}) dari CaCl_2 dan ion karbonat (CO_3^{2-}) dari Na_2CO_3 . Proses terbentuknya CaCO_3 ini adalah reaksi spontan terutama pada fasa larutan. Terbentuknya CaCO_3 dapat terjadi di fasa larutan (*homogeneous precipitation*) dan di fasa permukaan (*heterogeneous precipitation*) (Winarno dan Marin, 2020).

2.5. Kristal

Kristal adalah material padat yang memiliki permukaan alami berbentuk polihedral, yang terbentuk dari susunan atom yang teratur dan berulang. Material padat dengan susunan atom yang tidak teratur disebut sebagai gelas atau amorf. Ukuran kristal dapat bervariasi dari halus hingga kasar, tergantung pada kondisi geologis saat terbentuk. Keteraturan susunan atom dalam tiga dimensi menghasilkan sel unit yang serupa dalam satu mineral, disebabkan oleh pengaruh jarak dan sudut antaratom yang ditentukan oleh ikatan kimia. Menurut Hukum Steno, bidang kristal berpotongan pada sudut yang sama, meskipun ukuran dan bentuk kristal bisa berbeda. Sistem koordinat dan notasi digunakan untuk menggambarkan bidang kristal, dengan Indeks Miller sebagai notasi umum yang menggunakan bilangan bulat untuk mempermudah penulisan (Winarno dan Marin, 2020).

Bentuk kristal padat umumnya tersusun dari susunan teratur molekul, atom, atau ion yang menempati posisi khas sesuai dengan jenis zatnya. Keteraturan ini menyebabkan kristal memiliki bentuk yang khas. Saat kristal tumbuh, permukaannya cenderung halus dan sejajar dengan lapisan atom yang tersusun di dalamnya. Meskipun berasal dari zat yang sama, dua kristal sering kali tampak berbeda, baik dari segi ukuran maupun bentuk luarnya (Raharjo, 2020).

2.5.1. Faktor Pembentukan Kristal

Ukuran kristal yang dihasilkan selama proses pengendapan dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu laju nukleasi (pembentukan inti) dan laju pertumbuhan kristal. Laju nukleasi menggambarkan jumlah inti yang terbentuk dalam jangka waktu tertentu. Laju nukleasi yang tinggi akan menunjukkan semakin banyak kristal kecil yang akan terbentuk. Laju pertumbuhan kristal juga memainkan peran penting dalam menentukan ukuran kristal yang terbentuk selama pengendapan. Pertumbuhan kristal yang semakin cepat, semakin besar juga ukuran kristal tersebut. Kedua laju ini, baik nukleasi maupun pertumbuhan kristal bergantung

pada tingkat lewat jenuh larutan. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap ukuran kristal yang dihasilkan salah satunya adalah kecepatan nukleasi dan *growth rate* (Fachry *et al.*, 2008). Faktor-faktor pembentukan kristal diantaranya:

1. Kristalisasi

Kristalisasi adalah proses pembentukan partikel padat dalam suatu fase homogen. Kristalisasi dapat terjadi dalam berbagai bentuk, seperti pembentukan partikel padat dari uap (misalnya pembentukan salju), pembekuan dari lelehan cair untuk menghasilkan kristal tunggal atau bisa kristalisasi yang berasal dari larutan cair (Nagy *and* Braatz, 2012). Kristalisasi dari larutan terjadi ketika zat terlarut dalam kondisi berlebih (melebihi kesetimbangan), sehingga sistem akan mencapai kesetimbangan dengan mengkristalkan zat terlarut tersebut. Proses kristalisasi senyawa dari larutan langsung di permukaan transfer panas, tempat terbentuknya kerak, membutuhkan tiga faktor utama seperti, konsentrasi lewat jenuh (supersaturasi), pembentukan inti kristal, dan waktu kontak yang cukup. Ketika penguapan berlangsung, kondisi jenuh (*saturation*) dan lewat jenuh (*supersaturation*) dicapai secara bersamaan melalui pemekatan larutan dan penurunan kelarutan seimbang saat suhu meningkat hingga mencapai suhu penguapan. Proses kristalisasi seringkali dipicu oleh perubahan fisik seperti peningkatan suhu atau penguapan. Penguapan yang terjadi, larutan menjadi lebih pekat, mencapai kondisi jenuh (*saturation*) di mana larutan tidak bisa lagi melarutkan lebih banyak zat. Proses penguapan yang terus berlanjut, dan larutan akan mencapai kondisi supersaturasi, yang menyebabkan zat terlarut mulai mengkristal (Mandela, 2017).

2. Derajat Lewat Jenuh

Larutan lewat jenuh (*supersaturated*) adalah larutan metastabil yang mengandung lebih banyak zat terlarut dibanding larutan jenuh. Gangguan kecil pada larutan ini dapat memicu kristalisasi zat terlarut. Supersaturasi terjadi saat zat yang dapat mengkristal ditambahkan ke dalam air pada kondisi pH dan suhu tertentu, menyebabkan kejenuhan dan akhirnya terbentuk kristal. Kondisi kelarutan dibagi menjadi tiga wilayah: daerah stabil, daerah metastabil, dan daerah labil (Whitten *et al.*, 2014). Salah satu faktor kunci keberhasilan proses kristalisasi adalah tercapainya kondisi supersaturasi. Kondisi larutan pada proses ini mengandung

lebih banyak zat terlarut daripada yang bisa larut secara normal pada suhu tertentu dan akan mendorong terbentuknya inti kristal baru. Nukleus yang terbentuk akan berkembang melalui proses pertumbuhan kristal (*crystal growth*) menjadi kristal yang lebih besar (Gotama dan Mahfud, 2015).

3. Kelarutan Endapan

Kelarutan merupakan jumlah maksimum dari suatu senyawa atau zat yang dapat larut dalam sejumlah pelarut. Kelarutan yang disimbolkan dengan huruf "s" (*solubility*) adalah ukuran seberapa banyak suatu zat dapat larut dalam sejumlah pelarut tertentu (Astuti dkk., 2022). Endapan terbentuk ketika zat terpisah sebagai fase padat dari larutan, yang terjadi saat larutan menjadi jenuh berlebihan. Kelarutan endapan setara dengan konsentrasi molar larutan jenuhnya, dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tekanan, suhu, konsentrasi, komposisi pelarut, serta zat lain dalam larutan. Hasil kali kelarutan menunjukkan nilai akhir ketika kesetimbangan tercapai antara fase padat dan larutan dari zat yang sedikit larut. Hasil kali kelarutan tidak mengukur kecepatan tercapainya kesetimbangan, ia dapat menjelaskan kondisi kesetimbangan dan membantu memprediksi reaksi pengendapan (Valiakhmetova *et al.*, 2016).

4. Temperatur Air

Lingkungan dengan suhu yang relatif stabil (sekitar suhu kamar) akan menyebabkan suhu tidak berpengaruh besar. Berbeda halnya di industri, suhu yang bervariasi dapat mempengaruhi proses pengerakan terutama karena kelarutan zat cenderung menurun seiring peningkatan suhu. Laju pengerakan meningkat pada suhu air 50 °C atau lebih, dan kerak sering terbentuk pada suhu di atas 60 °C. Pengaruh tinggi suhu pada suatu reaksi yakni, akan memberikan suatu tekanan yang kuat dan tumbukan antar molekul reaktan semakin banyak. Hal tersebut akan menyebabkan kecepatan reaksi meningkat, dan jumlah kristal yang dihasilkan akan semakin banyak (Rahmadyo dkk., 2017).

2.6. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak

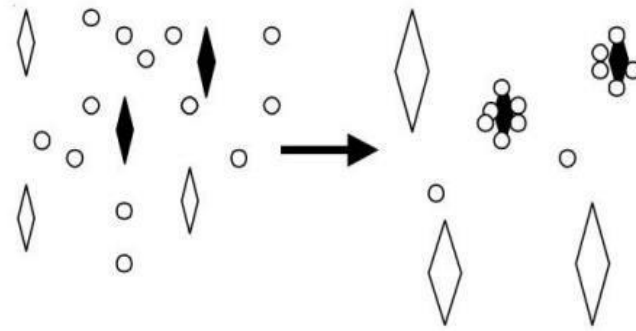
Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak CaCO_3 pada peralatan-peralatan industri antara lain:

1. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Metode ini digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak pada air dengan tingkat kesadahan tinggi (sekitar ± 250 ppm atau $\pm 0,0025$ M CaCO_3), diperlukan proses pelunakan menggunakan kapur dan soda abu. Masalah kerak tidak akan muncul jika air yang digunakan adalah air bebas mineral, karena semua garam terlarut dapat dihilangkan. Berdasarkan hal tersebut, penggunaan air bebas mineral adalah metode yang efektif untuk mencegah terbentuknya kerak, terutama dalam sistem dengan beban panas tinggi di mana metode pengolahan konvensional menggunakan bahan penghambat kerak tidak efektif. Kekurangan metode ini dalam industri skala besar adalah memerlukan biaya tinggi. sehingga dapat mengurangi efisiensi operasional sebuah industri (Raharjo, 2020).

2. Penggunaan Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam air dengan konsentrasi kecil untuk mencegah atau menghentikan pembentukan kerak. Prinsip kerja inhibitor kerak didasarkan pada pembentukan senyawa kompleks (kelat) antara inhibitor dan komponen penyusun kerak. Senyawa kompleks ini larut dalam air, sehingga mencegah pertumbuhan kristal besar dan menghalangi kristal kerak menempel pada permukaan pipa. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan meliputi efektivitas, kestabilan, kesesuaian, biaya, serta kemampuan stabil dalam air untuk jangka waktu lama dan pada suhu tinggi (Raharjo, 2020). Mekanisme kerja inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kristal dapat dilihat melalui Gambar 2 ketika inhibitor mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal (digambarkan dengan kristal berwarna hitam), sehingga pertumbuhannya terhambat dan kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (digambarkan dengan kristal tanpa warna) tumbuh secara normal (Suharso *et al.*, 2014).



Gambar 2. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal (Suharso *et al.*, 2014).

3. Pengendalian pH

Pengendalian pH dapat dilakukan dengan mereaksikan asam, seperti asam klorida atau asam sulfat yang telah terbukti efektif dalam mencegah pengendapan garam-garam kalsium, fosfat, dan logam bivalen (Raharjo, 2020). Kelarutan zat pembentuk kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Kekurangan metode ini adalah adanya pH di bawah 6,5 yang menyebabkan korosi cepat pada baja karbon, paduan tembaga, dan tembaga. Rentang pH yang optimal untuk mencegah pengendapan kerak adalah antara 7,0 hingga 7,5. Asam sulfat yang digunakan dalam pengendalian pH bereaksi dengan ion karbonat dalam air, menghasilkan H_2O dan CO_2 , sehingga mencegah terbentuknya kerak $CaCO_3$ (Al-Deffeeri, 2006).

2.7. Gambir

Tanaman gambir (*Uncaria gambier Roxb*) termasuk dalam genus *Uncaria* dan famili *Rubiaceae*. Berdasarkan penelitian (Sebayang dan Hardyani, 2020) disimpulkan bahwa ada empat jenis atau tipe tanaman gambir, yaitu: (1) Tipe daun gambir dengan warna kemerahan, dikenal dengan sebutan "siarang"; (2) Tipe gambir dengan daun yang lebih lebar dan panjang; (3) Tipe daun yang lebih kecil dan pendek; (4) Tipe daun gambir yang lebih tebal dan memiliki warna hijau yang lebih pekat. Tanaman gambir dapat tumbuh hingga ketinggian sekitar 2,4 meter dengan daun berbentuk oval atau lonjong yang panjangnya berkisar antara 8

hingga 14 cm dan lebarnya 4 hingga 6,5 cm. Bunga berbentuk tabung dengan rambut halus tumbuh dalam kelompok bulat dengan diameter sekitar 6 hingga 8 cm. Buahnya hampir berbentuk silinder dan memiliki panjang kurang dari 2 cm (Saad *et al.*, 2020).

Gambir kering digunakan sebagai obat tradisional, seperti untuk obat luka bakar, gangguan pencernaan, demam, sakit kepala, dan sebagai antibakteri atau antijamur. Gambir merupakan hasil ekstraksi dari daun tanaman gambir yang mengandung senyawa polifenol. Senyawa polifenol yang terdapat diekstrak gambir ini adalah katekin yang berperan sebagai senyawa antimikroba dan antioksidan (Marlinda, 2018). Ekstrak gambir mengandung 7,63-23,16% air, 12,24-24,16% tanin, 14,76-86,71% katekin, 1,43-25,24% abu serta 5,58-46,28% senyawa yang tidak larut dalam air (Ismail *et al.*, 2021). Gambar 3 dibawah ini menunjukkan tanaman gambir beserta bagian-bagiannya.



Gambar 3. Tanaman gambir (Saad *et al.*, 2020).

2.8. Kemenyan

Pohon kemenyan, yang juga dikenal sebagai *Styrax benzoin* termasuk dalam famili *Styracaceae* dan tersebar luas di daerah tropis dan subtropis. Tanaman ini telah dimurnikan sejak awal 1900-an dan digunakan untuk berbagai keperluan seperti upacara keagamaan, riasan kosmetik, serta obat tradisional dan modern.

Kemenyan juga sering digunakan sebagai pewarna dan pewangi dalam kosmetik, parfum, dan sabun (Sianipar, 2023).

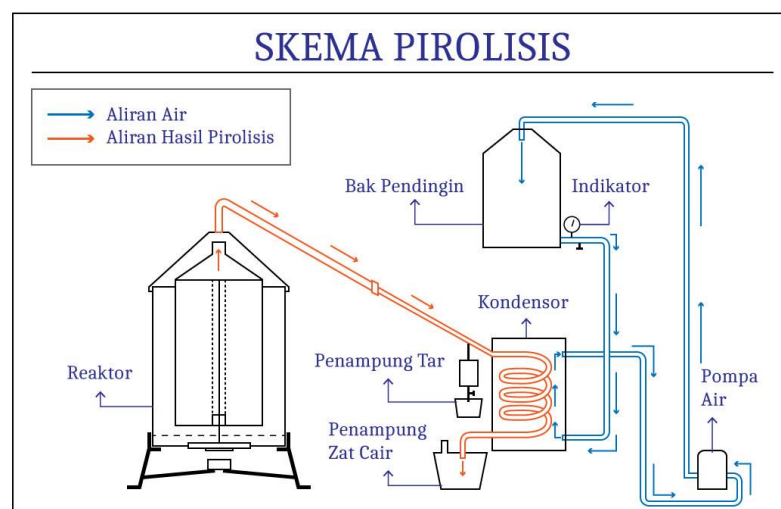
Pohon kemenyan merupakan pohon besar dengan diameter batang sekitar 60-100 cm dan tinggi mencapai 20-40 meter. Batangnya tegak dan sedikit bercabang, dengan kulit yang beralur (sekitar 3-7 mm) dan berwarna merah kecokelatan seperti anggur. Daunnya tunggal dan tersusun secara spiral, berbentuk oval atau lonjong dengan pangkal bulat dan ujung yang meruncing. Buah kemenyan berbentuk pipih, bulat dan lonjong, ditutupi oleh lapisan tertentu. Resin atau getah dari pohon ini berwarna putih dengan campuran coklat bening keabuan atau kemerahan, keras namun rapuh, dan memiliki aroma harum (Jayusman, 2014). Resin tersebut berbentuk serpihan batu yang panjangnya bervariasi antara 2,9-7,1 cm, tergantung varietasnya, dengan cangkang keras berdiameter rata-rata 2-3 cm, berwarna biru akibat struktur pada kutikula yang memantulkan cahaya biru. Di dalam buah terdapat biji kemenyan yang tertutupi kulit keras dengan ukuran 1,75-3,1 mm. Biji *Styrax benzoin* berwarna putih kecokelatan, terbungkus dalam daging yang keras dan tebal, dengan ukuran biji sekitar 15-19 mm (Apriyanti, 2017).

Berdasarkan skrining fitokimia, ditemukan bahwa resin kemenyan mengandung senyawa flavonoid, saponin, tanin, triterpenoid, alkaloid, aril propanoid, dan lignan. Analisis GC-MS pada fraksi etil asetat kemenyan mengidentifikasi senyawa trans asam sinamat dan asam benzoat (Susanti dkk., 2021). Persentase dari senyawa aktif tersebut terdiri dari 8-14% sinamil sinamat, 10-17% metil sinamat, 16-26% asam sinamat, 2-4% benzil sinamat, sedikit vanillin (<1%), asam benzoat 3-5%, dan fenilpropilik alkohol (Burger *et al.*, 2016). Kandungan pada resin kemenyan terdapat 18% asam benzoat, sedikit asam volatil, 75% resin amorf, asam sinamat bebas serta esternya seperti koniferil alkohol dan p-coumaryl, serta beberapa senyawa berat molekul tinggi seperti pinoresinol (Nawaz *et al.*, 2016).

2.9. Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit

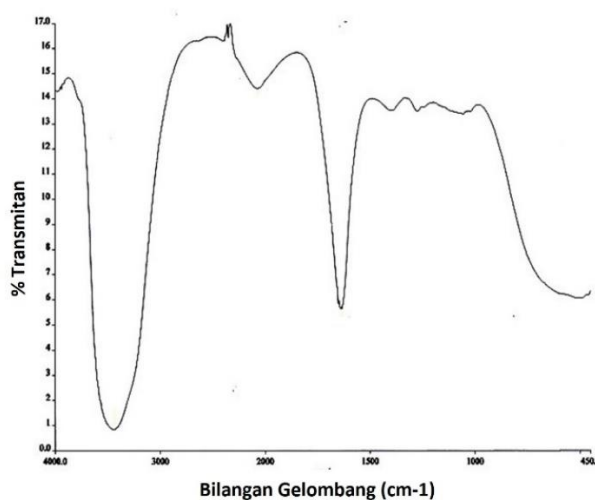
Inhibitor kerak organik bahan alam yang digunakan sebagai campuran inhibitor kerak ini yaitu asap cair cangkang kelapa sawit. Asap cair merupakan hasil kondensasi asap melalui proses pirolisis bahan yang terjadi pada suhu 400 °C, yang mengandung berbagai komponen kimia seperti fenol, aldehid, keton, asam organik, alkohol dan ester (Sumini dan Bahri, 2021). Cangkang kelapa sawit merupakan limbah dari pengolahan kelapa sawit yang kaya akan senyawa kimia seperti asam asetat, selulosa, karbonil, lignin, dan fenol. Cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk menghasilkan asap cair, yang tidak hanya mengurangi potensi pencemaran tetapi juga meningkatkan nilai tambah (Rosmaniar dkk., 2021). Pencemaran limbah padat dari perkebunan dapat diatasi dengan mengolahnya menjadi produk asap cair bernilai ekonomi tinggi melalui proses pirolisis.

Pirolisis adalah proses dekomposisi termal senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, dilakukan tanpa udara atau dengan sedikit udara. Keunggulan utama pirolisis adalah mampu menghasilkan produk fase cair dengan yield hingga 75% b/b, yang lebih tinggi dibandingkan metode konversi termal lainnya seperti gasifikasi dan torefaksi (Pratama dan Sa'diyah, 2022). Skema pirolisis asap cair ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema pirolisis (Pratama dan Sa'diyah, 2022).

Penelitian ini menggunakan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai zat aditif yang dipadukan dengan ekstrak kemenyan dan gambir yang diketahui memiliki kandungan senyawa yang dapat mencegah tumbuhnya mikroorganisme seperti jamur karena mengandung senyawa fenolik, asam seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat, dan mengandung suatu gugus karbonil. Hasil uji FT-IR pada Gambar 5 menunjukkan tiga pita khas yang terdapat dalam asap cair pada suhu 600 – 650 °C, yaitu pita pada 3435,0 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan gugus OH, pita pada 2067,14 cm^{-1} yang menunjukkan adanya benzena aromatik, serta pita pada 1633,5 cm^{-1} yang menandakan ikatan C=C atau gugus N-H.



Gambar 5. Spektrum FTIR asap cair cangkang kelapa sawit (Siregar *et al.*, 2020).

Pada penelitian Sarwendah (2019) menunjukkan hasil analisis komponen kimia asap cair dari cangkang kelapa sawit terdapat 12 senyawa kimia. Persentase area yang terbesar merupakan senyawa fenol (78,36%), dan dapat dilihat juga beberapa senyawa asam seperti asam heksadekanoat, asam oktadesenat, 12(asetiloksi)metil ester dalam jumlah yang kecil. Kandungan fenol yang semakin banyak, maka semakin besar kemampuan asap cair untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Berikut adalah komponen senyawa pada asap cair cangkang kelapa sawit yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis komponen senyawa pada asap cair cangkang kelapa sawit (Sarwendah dkk, 2019)

No.	Nama Senyawa	Berat Molekul	Rumus Molekul	% Area	Waktu Retensi
1	Fenol	94	C ₆ H ₆ O	78,63	5,308
2	Fenol-2,6-dimetoksi	154	C ₈ H ₁₀ O ₃	1,8	17,05
3	Asam heksadekanoat	270	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0,56	28,48
4	Oktadekana	296	C ₂₀ H ₄₀ O	1,49	31,376
5	12(asetiloksi)metil ester	354	C ₂₁ H ₃₈ O ₄	0,31	32,192
6	Eikosan	282	C ₂₀ H ₄₂	0,41	36,583
7	Heptakosana	380	C ₂₇ H ₅₆	0,59	38,171
8	Tetratetrakontana	618	C ₄₄ H ₉₀	0,81	39,711
9	Oktakosana	394	C ₂₈ H ₅₈	0,89	41,191
10	Tetratetrakontana	618	C ₄₄ H ₉₀	0,69	42,623
11	Heksatriakontana	506	C ₃₆ H ₇₄	0,42	44,006
12	Heksatriakontana	506	C ₃₆ H ₇₄	0,22	45,347

Kualitas asap cair juga ditentukan oleh sifat fisika dan kimia yang dimiliki. Salah satunya adalah rendahnya nilai pH menunjukkan asap cair yang dihasilkan berkualitas tinggi. Sifat fisika dan kimia asap cair sangat ditentukan oleh bahan baku dan proses pirolisis dari suatu asap cair (Sarwendah dkk., 2019). Berikut adalah sifat fisik dan kimia asap cair cangkang kelapa sawit yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik dan kimia asap cair cangkang kelapa sawit (Sarwendah dkk., 2019)

Pengamatan	Cangkang Kelapa Sawit
BJ (+27 °C)	1.010 ± 0.002
Air (%)	98.400 ± 0.444
Asam (%)	5.700 ± 0.622
Fenol (mg/mL)	19.540 ± 1.464
TAR (%)	0.390 ± 0.076
pH	3.020 ± 0.098

2.10. Metode *Seeded Experiment*

Berdasarkan keberadaan kristal awal atau bibit kristal, metode pengamatan pertumbuhan kristal terbagi menjadi dua. Pertama ada metode eksperimen dengan

bibit (*seeded experiment*) dan tanpa bibit (*unseeded experiment*). Metode *seeded experiment* adalah teknik pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit kristal ini bertujuan untuk mempercepat proses kristalisasi. Perbandingan dari keduanya adalah semakin cepat kristalisasi yang terjadi, maka semakin cepat laju pertumbuhan inti kristal, sehingga kristal yang lebih besar dapat terbentuk. Permukaan bibit kristal berperan dalam mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Metode ini diterapkan untuk mengamati laju pertumbuhan kerak magnesium karbonat setelah penambahan inhibitor dan bibit kristal (Setiososari, 2018).

2.11. Analisis Menggunakan FT-IR, GC-MS, PSA, XRD dan SEM

Penelitian ini akan mencakup berbagai analisis dan karakterisasi terhadap kerak CaCO_3 yang telah terbentuk. Analisis menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengidentifikasi struktur senyawa dan mendeteksi keberadaan gugus fungsional utama dalam sampel. GC-MS digunakan untuk mengidentifikasi komponen senyawa kimia dalam inhibitor campuran. PSA digunakan untuk menganalisis distribusi ukuran partikel. Karakterisasi XRD dilakukan untuk menentukan struktur kristal dari kerak CaCO_3 , sementara analisis morfologi permukaan kristal CaCO_3 menggunakan SEM. Semua analisis dan karakterisasi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair dari cangkang kelapa sawit dalam mencegah pembentukan kerak CaCO_3 . Berikut adalah penjelasan tentang berbagai instrumen yang digunakan dalam penelitian ini:

2.11.1. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah alat yang digunakan untuk menggambarkan struktur molekul melalui vibrasi atom. Alat ini berfungsi untuk mengidentifikasi karakteristik ikatan kimia dan struktur molekul dalam berbagai material, khususnya saat menganalisis sampel plastik, polimer, dan bahan organik.

Spektrum dan puncak FTIR bertindak sebagai “sidik jari” yang mencerminkan struktur molekul serta ikatan kimia tertentu, yang membutuhkan basis data referensi yang memadai untuk memfasilitasi perbedaannya (Nandiyanto *et al.*, 2023). Prinsip kerja FTIR didasarkan pada interaksi antara materi (molekul senyawa kompleks) dengan energi berupa sinar inframerah, yang menyebabkan vibrasi pada molekul. Besar energi getaran ini bervariasi untuk setiap komponen molekul bergantung pada jenis atom dan kekuatan ikatannya, sehingga menghasilkan frekuensi yang berbeda-beda. Perbedaan energi getaran ini memungkinkan identifikasi komponen atau gugus fungsi dalam molekul. Berdasarkan mekanisme kerja FTIR, sumber cahaya inframerah diarahkan pada sampel melalui sebuah celah, yang mengontrol jumlah energi yang diteruskan. Sebagian sinar inframerah diserap oleh sampel, sementara sisanya ditransmisikan ke detektor, dan sinyal yang diterima detektor kemudian diproses oleh komputer (Mohamed *et al.*, 2017).

Pada analisis ekstrak gambir, kehadiran gugus hidroksil (-OH) terdeteksi melalui pita serapan yang sangat lebar pada rentang bilangan gelombang $3417,86\text{--}3263,86\text{ cm}^{-1}$. Pita serapan hidroksil muncul di $3385,07\text{ cm}^{-1}$, yang menunjukkan adanya senyawa utama dalam ekstrak gambir seperti asam tanat (tanin), yang kaya akan gugus -OH . Serapan pada $2933,3\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus fungsional C-H aromatik, yang berasal dari senyawa kimia dalam ekstrak gambir seperti tanin. Sementara itu, bilangan gelombang $1627,92\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus karbonil (C=O) yang berkaitan dengan senyawa katekin (anhidrid katekin) dalam ekstrak tersebut. Adanya gugus C=C pada struktur aromatik dibuktikan dengan munculnya puncak pada bilangan gelombang $1.467,83$ dan $1.523,76\text{ cm}^{-1}$ (Suharso *et al.*, 2017).

Pada hasil analisis FTIR ekstrak kemenyan, tampak beberapa pita serapan yang berkaitan dengan gugus-gugus fungsional dari senyawa organik yang terdapat dalam ekstrak kemenyan. Serapan kuat pada bilangan gelombang $3367,1\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus hidroksil (O-H). Sementara itu, serapan pada $1691,57\text{ cm}^{-1}$ merupakan ciri khas dari gugus karbonil (C=O) milik asam karboksilat. Keberadaan gugus rangkap dua karbon (-C=C-) pada senyawa

aromatik ditunjukkan oleh puncak tajam dan kuat pada rentang bilangan gelombang 1514,12 hingga 1450,47 cm^{-1} (Suharso *et al.*, 2017).

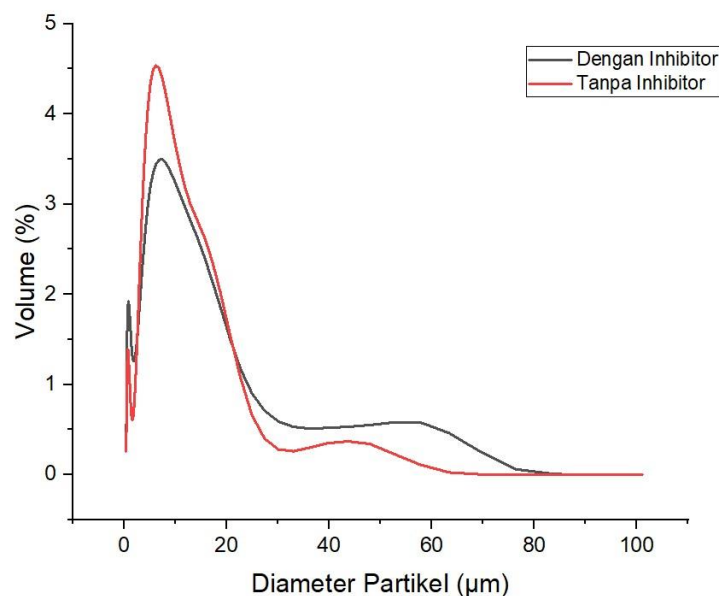
Hasil analisis IR terhadap asap cair dari cangkang kelapa sawit menunjukkan adanya berbagai gugus fungsi kimia. Pita serapan pada panjang gelombang 3265,3 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil (O-H) dari alkohol, ditandai dengan bentuk pita yang melebar dan intensitas kuat. Pada bilangan gelombang 2087,3 cm^{-1} , terdeteksi gugus alkuna ($\text{C}\equiv\text{C}$) dengan intensitas rendah. Sementara itu, gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$) dari asam karboksilat teridentifikasi pada 1640,0 cm^{-1} dengan intensitas sedang. Di bilangan gelombang 1274,7 cm^{-1} muncul pita serapan lemah dari gugus eter ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$) (Rosadinah, 2024).

2.11.2. *Particle Size Analyzer (PSA)*

Particle Size Analyzer (PSA) adalah salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk menguji sebuah distribusi ukuran suatu partikel yang berukuran nanometer. Prinsip pengukuran alat *Particle Size Analyzer (PSA)* didasarkan pada hamburan cahaya laser oleh partikel-partikel dalam sampel. Cahaya laser dipancarkan melalui pinhole (lubang kecil) dan diarahkan ke partikel dalam sampel. Partikel-partikel tersebut kemudian menghamburkan cahaya kembali melalui pinhole, yang kemudian diterima oleh detektor. Sinyal analog yang terdeteksi diubah menjadi sinyal digital, yang selanjutnya diproses dan dianalisis untuk menghasilkan distribusi ukuran partikel dalam bentuk deret hitung (Nuraeni dkk., 2013).

Pengukuran menggunakan PSA memiliki beberapa keunggulan, salah satunya adalah tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan alat lain seperti XRD atau SEM. Hal ini disebabkan karena partikel didispersikan dalam medium, sehingga ukuran yang diukur merupakan ukuran partikel tunggal (*single particle*). Selain itu, hasil pengukuran berupa distribusi ukuran partikel, yang memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi sampel. PSA juga memiliki rentang pengukuran yang luas, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi analisis ukuran partikel (Anindya, 2018). Analisis menggunakan PSA dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel kerak kalsium karbonat

yang berukuran nanometer. Berdasarkan penelitian Suharso *et al* (2017), distribusi partikel dari kerak kalsium karbonat berubah setelah penambahan inhibitor yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi partikel dari kristal CaCO_3 (Oktaviyanti, 2024)

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

Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS) adalah metode yang menggabungkan kromatografi gas dan spektrometri massa. Kromatografi gas digunakan untuk melacak senyawa yang bersifat mudah menguap di bawah kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah saat dipanaskan, dan spektrometri massa digunakan untuk menentukan rumus molekul, berat molekul, dan menghasilkan molekul bermuatan. Teknik GC-MS bekerja dengan memisahkan sampel melalui kromatografi gas, kemudian dianalisis menggunakan spektrometri massa. Teknik ini memiliki sensitivitas yang sangat tinggi dan memungkinkan pemisahan senyawa campuran serta analisis senyawa dalam konsentrasi yang sangat rendah (Candraningrat *et al.*, 2021). Kromatografi ini mampu mengidentifikasi senyawa dengan konsentrasi paling rendah sehingga metabolit sekunder dalam tanaman

dapat teridentifikasi dengan hasil berupa kromatogram dan spektrum massa (Hotmian dkk., 2021). Kromatografi gas memiliki aplikasi yang luas dapat dijadikan sebagai pemisahan dan analisis campuran beberapa komponen. Selain itu, identifikasi tiap puncak dalam kromatogram dilakukan dengan mencocokkan spektrum MS tiap puncak dengan *database Wiley* untuk menentukan jenis senyawanya (Hartono *et al.*, 2017). Kombinasi GC dan MS memberikan keuntungan dari keduanya.

Analisis GC-MS dilakukan untuk mengidentifikasi jenis-jenis senyawa yang terkandung dalam asap cair. Pada analisis GC-MS ekstrak kemenyan dihasilkan beberapa komponen senyawa yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Komponen kimia ekstrak kemenyan (Susanti *et al.*, 2021)

Nomor Puncak	Waktu Retensi	Nama Senyawa	% Area
1	4,731	Asam Benzoat	14,01
2	6,837	Vanilin	9,43
3	7,336	Asam sinamat	100
4	8,481	Dietil Ftalat	88,59
5	8,666	n-propil sinamat	1,11
6	9,072	Asam ftalat, etil isopropil ester	5,67
7	9,737	Benzil benzoate	09
8	11,88	(Z)-sinamil benzoate	1,32
9	12,028	Asam 2-propenoat, 3-fenil, fenilmetil ester, (E)	4,66
9	15,519	Sinamal Sinamat	16,59

Analisis pada ekstrak gambir juga terlihat bahwa terdapat beberapa senyawa kimia yang teridentifikasi yang ditunjukkan dengan Tabel 4.

Tabel 4. Komponen kimia ekstrak gambir (Aprian, 2022).

Nomor Puncak	Waktu Retensi	Nama Senyawa	% Area
1	2.86	Asam 1,3-benzendikarboksilat	15,83
2	4.68	5-[(4-metilfenoksi) metil] fenol	33,04
3	7.82	(4- fluorofenil) - (2 tienil) metanol	1,2
4	10.03	Benzotiofena	8,83
5	12.46	Asam pentanoat	7,6
6	14.65	2,6-dihidroksiasetofenon	6,83
7	16.59	1H-Purin-6-amina	2,98
8	17.36	Patkouli alkohol	1,84

Komponen senyawa yang dihasilkan dari berbagai proses pembuatan asap cair dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kandungan kimia asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit dengan instrumen GC-MS (Haji, 2013)

No. Puncak	Waktu Retensi	Senyawa	% Area
1	1,283	Etanol	0,7
2	1,625	Asam asetat	2,7
3	2,733	2-furankarbondehid	1,5
4	5,425	Fenol	21,02
5	5,858	2-kloro-2-hidroksil,3-metil pentenon	1,46
6	6,508	2-metoksi-fenol	6,46
7	6,875	4-metil-fenol	1,53
8	8,067	2-metoksi-4-metil-fenol	4,41
9	8,325	3-etil-fenol	0,8
10	9,367	4-etil-2-metoksi-fenol	3,93
11	10,675	2,6-dimetoksi-fenol	5,43
12	12,017	Asam-4-hidroksi-3-metoksi benzoat	3,13
13	12,15	2-metoksi-4-(2-propenil)-fenol	1,21
14	12,608	Metil dodekanoat	1,26
15	13,05	1,2,3-trimetoksi-5-metil-benzen	2,13
16	14,033	Asam dodekanoat	7,61
17	14,15	Asam-2,4-heksadienoat	1,8
18	15,267	4-metil oktadekanoat	0,31
19	15,542	2,6-dimetoksi-4-(2-propenil)-fenol	1,22
20	16,367	Asam tetradekanoat	3,76
21	17,717	Metil heksadekanoat	1,23
22	18,725	Asam heksadekanoat	6,17
23	19,683	Metil-9-oktadekenoat	1,38

2.11.4. *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristal, termasuk identifikasi struktur kristalit secara kualitatif dan fase secara kuantitatif dalam suatu bahan, dengan memanfaatkan radiasi sinar-X dari gelombang elektromagnetik. Teknik ini juga dapat memberikan informasi lebih lanjut mengenai susunan atom dalam kristal, keberadaan cacat, orientasi, serta cacat kristal. XRD merupakan metode analitik non-destruktif yang serbaguna, mampu mengidentifikasi dan menganalisis berbagai bentuk kristal baik dalam sampel padat maupun serbuk (Hakim, 2019). Difraksi terjadi ketika gelombang sinar-X dibelokkan atau dibiaskan oleh kisi kristal, menghasilkan hamburan yang terarah. Hamburan ini dapat menghasilkan interferensi konstruktif (penguatan sinyal) atau destruktif (pelemahan sinyal), tergantung pada fase gelombang (Muttaqin *et al.*, 2023). Radiasi yang digunakan dalam XRD biasanya adalah sinar-X, tetapi juga bisa berupa elektron atau neutron. Sinar-X memiliki panjang gelombang antara 0,5 hingga 2,5 angstrom, ideal untuk mempelajari struktur atom (Hakim, 2019).

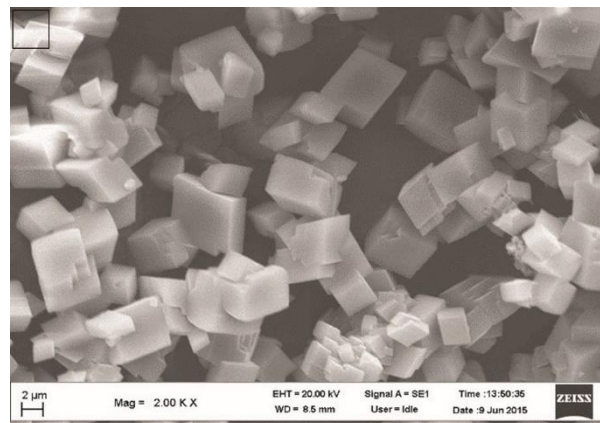
Prinsip dasar XRD adalah hamburan dan interferensi sinar-X yang terjadi ketika sinar-X mengenai material. Sebagian sinar diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lainnya terhambur. Hamburan ini menyebabkan interferensi, baik konstruktif (saling menguatkan) ketika gelombang sefase, maupun destruktif (saling melemahkan) ketika fasanya berbeda. Interferensi konstruktif, yang merupakan kunci dalam XRD, dapat dihitung menggunakan persamaan Hukum Bragg untuk menentukan jarak antar bidang kristal (Rani, 2022).

Pola XRD kristal CaCO_3 pada suhu 75 °C tanpa penambahan inhibitor menunjukkan puncak utama yang berasal dari kristal kalsit pada 23,022; 29,406; 35,966; 39,402; 43,146; 47,124; 47,490; 48,514; 56,555; dan 57,402 °, yang berkaitan dengan bidang kristal 012, 104, 110, 113, 202, 024, 018, 116, 211, dan 122, menegaskan bahwa kalsit adalah fase kristal dominan yang terbentuk (Al-Roomi *et al.*, 2015).

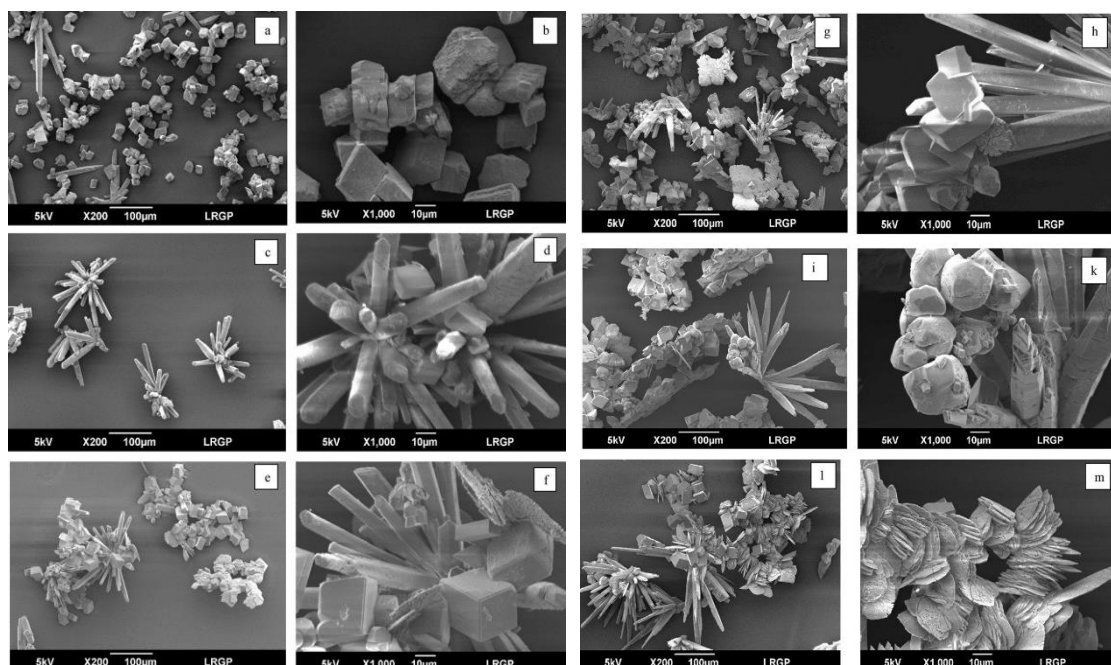
2.11.5. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang mampu menghasilkan gambar resolusi tinggi dari permukaan sampel. Prinsip kerja SEM melibatkan hamburan balik elektron (*electron beam*) pada permukaan objek, di mana gambar dihasilkan dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan tersebut. SEM juga dapat didefinisikan sebagai teknik pencitraan yang digunakan untuk mendapatkan gambar resolusi tinggi dari permukaan sampel dengan menggunakan berkas elektron. SEM menjadi alat penting dalam berbagai bidang sains dan teknologi karena kemampuannya untuk memberikan detail morfologi dan struktur permukaan yang sangat kecil hingga skala nanometer. (Septiano *et al.*, 2021). SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan sampel dengan perbesaran tinggi. Dimensi sampel yang dapat diamati dengan SEM hanya dibatasi oleh ukuran bilik sampel, karena berkas elektron tidak perlu menembus sampel (Pamungkas dan Djonu, 2022).

Komponen utama SEM meliputi *electron gun*, yang berfungsi untuk memancarkan berkas elektron, lensa elektromagnetik untuk mengarahkan berkas elektron, serta detektor yang menangkap berbagai jenis sinar balik. Berkas elektron yang telah mencapai sampel akan berinteraksi dan menghasilkan beberapa jenis sinar, seperti *secondary electron (SE)*, *backscattered electron (BSE)*, dan sinar-X karakteristik. SE dan BSE adalah sinar yang digunakan untuk membentuk citra SEM. Hal yang harus dilakukan agar berkas elektron dapat mencapai sampel dengan baik, adalah dengan mengoperasikan SEM dalam kondisi vakum. SEM memiliki kedalaman fokus yang lebih besar dibandingkan mikroskop optik, sehingga menghasilkan gambar dengan bidang pandang yang lebih luas. SEM dapat menghasilkan gambar dengan resolusi yang sangat tinggi, jauh melebihi mikroskop optik, memungkinkan pengamatan pada skala nanometer (Adhika *et al.*, 2018). Berikut adalah morfologi SEM dari Kristal CaCO_3 0,050 M yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Morfologi SEM dari kristal CaCO_3 0,050 M (Suharso *et al.*, 2017).



Gambar 8. Gambar SEM kristal kalsium karbonat: tanpa inhibitor (a, b), dengan inhibitor: 10 ppm (c, d), 30 ppm (e, f), 50 ppm (g, h), 70 ppm (i, k), 100 ppm (l, m) (Issabayev *et al.*, 2018).

Perbedaan yang sangat terlihat pada Gambar 8, dengan dan tanpa inhibitor. Keadaan ketika dengan penambahan inhibitor adalah kristal utama yang terbentuk adalah aragonit dengan beberapa vaterit pada konsentrasi inhibitor yang lebih tinggi. Kristal yang tanpa inhibitor, kristal yang dihasilkan didominasi oleh kalsit. Aragonit memiliki bentuk jarum atau menyerupai bunga, sementara kalsit berbentuk balok, seperti partikel kubik atau rombohedral (Issabayev *et al.*, 2018).

III. METODE 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 Oktober 2024 sampai Februari 2025. Analisis *Infra Red* (IR) dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung, analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS) di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia, analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di Laboratorium Fisika Terpadu Institut Teknologi Bandung, analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Analisa dan Pengukuran Universitas Brawijaya, dan analisis menggunakan *X–ray Diffactogram* (XRD) dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.

3.2. Alat dan Bahan

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas, *water bath* merek Thermoscientific AC 200/S21 (Amerika Serikat), gelas-gelas plastik, pengaduk magnet, *spinbar*, oven merek Innotech (Cina), neraca analitik merek Airshwoth AA-160 (Jepang), pH meter, termometer, *rotary evaporator* merek Buchii /R210 (Swiss), spektrofotometer IR merek Cary 630 Agilent (Amerika Serikat), *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS) merek Shimadzu QP 2010 SE (Jepang), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merek JEOL JSM 6510 LA (Jepang), *Particle Size Analyzer* (PSA) merek Cilas 1090 Liquid

(Austria), dan *X-Ray Diffraction* (X-RD) merek PANalitycal MPD PW3040/60 (Belanda).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CaCl_2 anhidrat, Na_2CO_3 , akuades, ekstrak gambir, ekstrak kemenyan, asap cair cangkang kelapa sawit, dan kertas saring.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Pembuatan Inhibitor Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit

Pada penelitian ini asap cair cangkang kelapa sawit diperoleh dari hasil produksi asap cair di lingkup Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Produksi asap cair menggunakan bahan cangkang kelapa sawit sebanyak 15 kg yang kemudian produksinya dibagi menjadi 3 kali pengulangan. Asap cair yang telah diperoleh kemudian dilakukan analisis sifat fisik dan kimianya. Asap cair kemudian diambil sebanyak 1 g atau setara dengan 1 mL dan diencerkan dalam 1000 mL akuades untuk membuat larutan induk 1000 ppm.

Inhibitor dibuat dengan konsentrasi 250 ppm yang dilakukan dengan cara mengencerkan 250 mL larutan stok dari larutan induknya dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas lalu dihomogenkan dan nilai keasamannya diukur menggunakan pH meter. Analisis dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam asap cair cangkang kelapa sawit menggunakan spektrofotometri IR dan untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terdapat di dalam asap cair cangkang kelapa sawit dilakukan pula analisis menggunakan GC-MS (Kesuma, 2023).

3.3.2. Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Kemenyan dan Gambir

3.3.2.1. Pembuatan Ekstrak Gambir

Gambir diperoleh dari ekstrak yang dibuat dari daun kering. Daun gambir segar dikeringkan pada cahaya matahari, selanjutnya daun kering dihaluskan hingga membentuk serbuk. Sebanyak 1 g serbuk gambir dilarutkan dalam 1 L akuades. Larutan diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 3 jam dengan suhu 90 °C, kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh merupakan ekstrak gambir dengan konsentrasi 1.000 ppm. Filtrat kemudian diidentifikasi dengan Spektrofotometri IR untuk mengetahui gugus fungsi dalam ekstrak gambir. Inhibitor dibuat dengan konsentrasi bervariasi yakni 100, 150, 200, 250, dan 300 ppm yang dilakukan dengan cara mengencerkan 100, 150, 200, 250, dan 300 mL masing-masing larutan stok dari larutan induknya dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas lalu dihomogenkan (Aprian, 2022).

3.3.2.2. Pembuatan Ekstrak Kemenyan

Ekstrak kemenyan dibuat dengan cara menghaluskan kemenyan padat dengan cawan hingga halus, sehingga diperoleh serbuk kemenyan. Sebanyak 1 g serbuk kemenyan dilarutkan dalam 1 L akuades. Larutan diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 3 jam dengan suhu 90 °C, kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh merupakan ekstrak kemenyan dengan konsentrasi 1.000 ppm. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak kemenyan, ekstrak kemenyan dianalisis menggunakan spektrofotometer IR. Inhibitor dibuat dengan konsentrasi 50 ppm yang dilakukan dengan cara mengencerkan 50 mL larutan stok dari larutan induk dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas lalu dihomogenkan (Utari, 2016).

3.3.2.3. Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Kemenyan (K) dan Gambir (G)

Larutan inhibitor disiapkan dengan mencampurkan 200 mL ekstrak gambir dan 200 mL ekstrak kemenyan dengan variasi konsentrasi yang berbeda. Pada campuran ini konsentrasi ekstrak kemenyan dijaga tetap. Perbandingan konsentrasi campuran kemenyan dan gambir pada prosedur ini dapat dilihat pada Tabel 6. Proses pencampuran ini dilakukan menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 90 °C selama 15 menit, kemudian larutan didinginkan dan disimpan dalam botol gelap. Setiap campuran tersebut diuji untuk mengetahui seberapa efektif dalam mencegah pembentukan kerak CaCO_3 (Suharso *et al.*, 2013).

Tabel 6. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak kemenyan (K) dan gambir (G)

Perbandingan Konsentrasi Campuran KG	Konsentrasi Ekstrak Kemenyan (ppm)	Konsentrasi Ekstrak Gambir (ppm)
1:2	50	100
1:3	50	150
1:4	50	200
1:5	50	250
1:6	50	300

3.3.3. Pembuatan Inhibitor dari Campuran Ekstrak Kemenyan, Gambir, dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit

Larutan inhibitor dibuat dengan cara mencampurkan 200 mL campuran ekstrak kemenyan dan gambir dengan konsentrasi terbaik yang diperoleh dan 200 mL asap cair cangkang kelapa sawit dengan konsentrasi 300 ppm. Campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dan larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring dan nilai keasamannya diukur menggunakan pH meter. Perpaduan campuran ini dibuat dengan perbandingan konsentrasi asap cair yang tetap. Perbandingan campuran tersebut diukur nilai pH-nya dan diuji efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan kristal CaCO_3 .

3.3.4. Pembuatan Bibit Kristal

Padatan CaCl_2 (larutan 1 M) sebanyak 55,5 g dan padatan Na_2CO_3 (larutan 1 M) sebanyak 53 g, dimasukkan masing-masing ke dalam gelas kimia 1000 mL, lalu ditambahkan 500 mL akuades. Larutan kemudian masing-masing secara bersamaan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C. Larutan CaCl_2 1 M dan larutan Na_2CO_3 1 M selanjutnya dicampur dalam satu gelas kimia 1000 mL dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan suhu 90 °C. Endapan yang diperoleh dipisahkan dengan kertas saring, kemudian dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa cairan induk dan kotoran, dan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 4 jam. Hasil kristal yang didapatkan akan digunakan sebagai bibit kristal untuk diamati pertumbuhannya (Suharso *et al.*, 2009).

3.3.5. Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kerak CaCO_3

Tahapan untuk menguji pengujian ekstrak kemenyan dan gambir sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal CaCO_3 dengan metode *seeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut:

3.3.5.1. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari konsentrasi larutan CaCl_2 0,050 M dan larutan Na_2CO_3 0,050 M masing-masing dalam 200 mL. Kemudian, setiap larutan diaduk hingga homogen selama ± 15 menit pada suhu 90 °C. Masing-masing larutan CaCl_2 0,0500 M dan larutan Na_2CO_3 0,0500 M dicampurkan selama ± 15 menit dengan suhu 90 °C dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan CaCO_3 yang telah terbentuk dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik sebanyak 50 mL dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Setelah itu diletakkan dalam

waterbath pada suhu 90 °C selama 65 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya di ambil setiap 10 menit). Larutan tersebut kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Endapan yang diperoleh ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 sebesar 0,075, 0,100, dan 0,125 M.

3.3.5.2. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dengan cara melarutkan 0,050 M CaCl_2 dan 0,050 M Na_2CO_3 masing-masing dalam inhibitor campuran KG dan asap cair dengan konsentrasi perbandingan yang paling optimum atau memiliki efektivitas terbesar. Campuran KG dan asap cair ditambahkan pada masing-masing larutan hingga mencapai volume 200 mL, lalu diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan dan diukur nilai larutan. Larutan CaCO_3 0,025 M dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik masing-masing 50 mL dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal, lalu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 65 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya gelas diambil setiap 10 menit). Kemudian larutan dalam gelas tersebut disaring menggunakan kertas saring, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Selanjutnya, endapan tersebut ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 sebesar 0,075, 0,100, dan 0,125 M.

3.3.6. Analisis Data

Data yang diperoleh berupa jumlah endapan terhadap waktu dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing akan diplot sebagai jumlah endapan terhadap waktu menggunakan *Microsoft Office Excel* 2010. Untuk mengetahui efektivitas inhibitor campuran ekstrak

gambir, ekstrak kemenyan, dan asap cair cangkang kelapa sawit dalam menghambat laju pertumbuhan kerak CaCO_3 digunakan Persamaan 1 (Suharso *et al.*, 2019). Hasil perhitungan efektivitas inhibitor kemudian akan dibandingkan untuk setiap variasi konsentrasi guna menentukan kondisi optimal dalam menghambat pertumbuhan kerak CaCO_3 .

$$\% \text{ efektivitas inhibitor} = \frac{C_a - C_b}{C_0 - C_b} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

C_a = berat endapan dengan penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

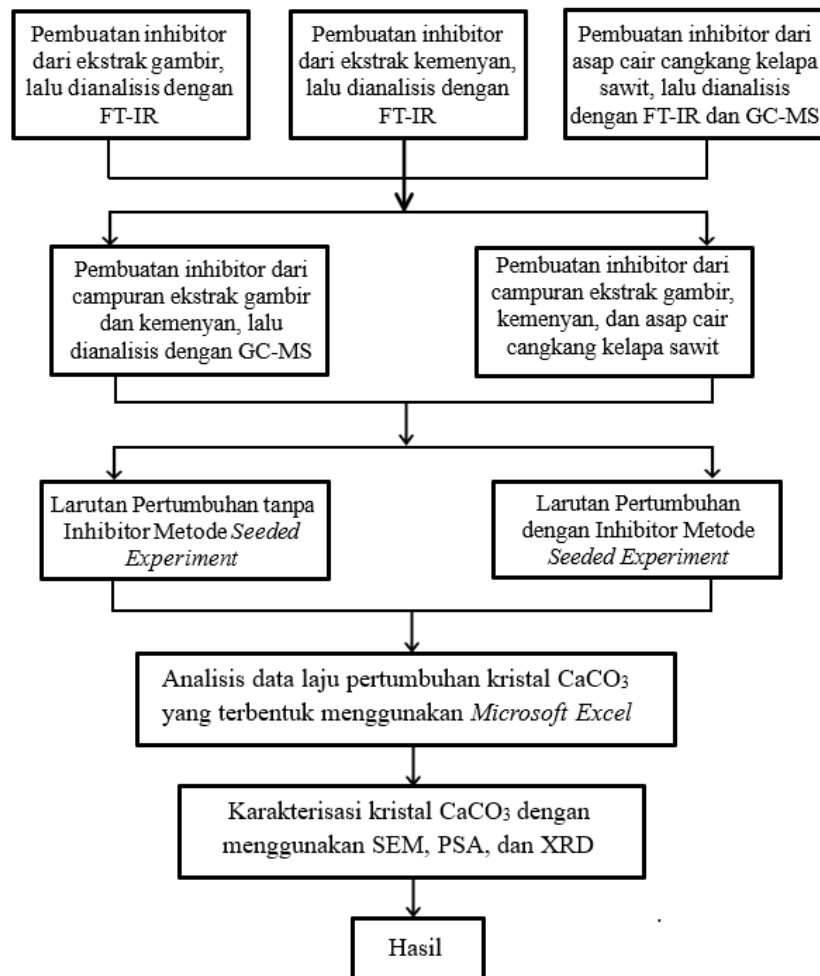
C_b = berat endapan tanpa penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

C_0 = berat endapan awal (g/L)

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.

3.3.7. Diagram Alir

Secara menyeluruh alur penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit dapat menghambat laju pertumbuhan kerak CaCO_3 . Hal ini dibuktikan dengan perbedaan nilai laju pertumbuhan, morfologi, struktur, dan ukuran partikel kristal dari kerak CaCO_3 tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor.
2. Persentase nilai efektivitas tertinggi yakni sebesar 63,19% diperoleh pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,025 M dengan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit dengan perbandingan konsentrasi sebesar 1:6:5.
3. Hasil analisis dengan menggunakan SEM dan XRD memperlihatkan adanya perubahan antara kerak tanpa dan dengan penambahan inhibitor yang semula didominasi oleh fasa kalsit (*hard scale*) dan aragonit (*soft scale*), berubah menjadi fasa aragonit dan kalsit yang pertumbuhannya tidak teratur dan rapuh, serta munculnya fasa baru yakni vaterit (*soft scale*).
4. Analisis menggunakan PSA menunjukan bahwa distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3 mengalami penurunan setelah ditambahkan inhibitor ekstrak kemenyan, gambir, dan asap cair cangkang kelapa sawit yang terlihat pada nilai rata-rata (*mean*) yaitu dari 70,92 μm menjadi 64,3 μm .

5.2. Saran

Berikut adalah saran untuk meningkatkan mutu penilaian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran yaitu:

1. Penelitian lebih lanjut terhadap kerak CaCO_3 dengan menggunakan variasi inhibitor yang berbeda, serta mengetahui secara pasti senyawa aktif yang berperan dalam menghambat kerak CaCO_3 .
2. Perlu dilakukan pemurnian dengan baik pada inhibitor bahan alam yang digunakan, agar ketika dilakukan analisis senyawa dapat teridentifikasi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Adhika, R., Anindya, L., Tanuwijaya, V., dan Rachmawati, H. 2018. Teknik Pengamatan Sampel Biologi dan Non-konduktif Menggunakan Scanning Electron Microscopy. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol Dan Otomasi (SNIKO)*.
- Alighiri, D., Fatmala, C., Syafi'i, I., Haditya, B. 2018. Studi Pembentukan Scale CaCO_3 dan CaSO_4 pada Air Formasi Sumur Minyak di Cepu, Indonesia. *Jurnal Fisika*, 8(1), 28–36.
- Al-Deffeeri, N. S. 2006. Heat Transfer Measurement as a Criterion for Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plants in Kuwait. *Desalination*, 204, 423–436.
- Al-Roomi, Y. M., Hussain, K. F., and Al-Rifaie, M. 2015. Performance of Inhibitors on CaCO_3 Scale Deposition in Stainless Steel and Copper Pipe Surface. *Desalination*, 375, 138–148.
- Amor, M.B., and Tlili, M. 2013. Prevention of The Scaling in Water Distribution Systems. *MATEC Web of Conferences*, 1–3.
- Anindya, A. L. 2018. Particle Size Analyser: Beberapa Penggunaan Instrumen Hamburan Cahaya. *Prosiding Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi*, 59–62.
- Aprian, R. D. 2022. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat (MgCO_3). *Tesis*. Universitas Lampung. Lampung.
- Apriyanti, M. 2017. Getah Kemenyan Sebagai Bahan Aditif pada Campuran Aspal Ac – Wc Ditinjau Dari Sifat Fisik Bahan Aspal dan Nilai Stabilitas Marshall. *Jurnal Konstruksia*, 9(1), 15–26.
- Astuti, S. I., Lestari, P. Aprianingsih, T., Sumardani, T. Z., Wicaksana, G. C., dan Sholiah, A. Pengaruh Suhu Terhadap Kelarutan dan Viskositas pada Gula Pasir. *Jurnal Pendidikan IPA*, 11(1), 19-21.
- Burger, P., Casale, A., Kerdudo, T., Michel, R., Laville, F., Chagnaud., and Fernandez, X. 2016. New insights in the chemical composition of benzoin balsams. *Food Chemistry*, 210, 613-622

- Candraningrat, I. D. A. A., Santika, A. A. G. J., Dharmayanti, I. A. M. S., dan Prayascita, P. W. 2021. Review Kemampuan Metode Gc-Ms dalam Identifikasi Flunitrazepam Terkait Dengan Aspek Forensik dan Klinik. *Jurnal Kimia*, 12(1), 1-7.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G., S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scales and Deposits*, 701-720.
- Eichinger, S., Boch, R., Leis, A., Baldermann, A., Domberger, G., Schwab, C., and Dietzel, M. 2022. Green Inhibitors Reduce Unwanted Calcium Carbonate Precipitation: Implication for Technical Settings. *Water Research*, 1-10.
- Fachry, A. R., Tumanggor, J., dan Yuni, N. P. E. 2008. Pengaruh Waktu Kristalisasi dengan Proses Pendinginan terhadap Pertumbuhan Kristal Amonium Sulfat dari Larutannya. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 9-16.
- Fitriyanti, R., Pandjaitan, M. M. L., Lukas, L., Harlis, G. B., Wahyudi, A., and Fatimura, M. 2023. Effect of EDTA Addition on Acidizing Treatment Process. *Chemical Engineering Research Articles*, 6(2), 95-104.
- Gotama, B., dan Mahfud. 2015. Pengaruh Teknik Seeding terhadap Yield Kristal pada Kristalisasi Patchouli Alcohol dari Minyak Nilam. *Seminar Nasional Teknologi (SENATEK)*, 19.
- Haji, A. G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 9(3), 109-116.
- Hakim, L., dan Nawir, D. M. 2019. Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(1), 7-18.
- Handayani, A., and Listiana, E. 2023. Analisa Potensi dan Strategi Pemanfaatan Limbah Cangkang Sawit di Kalimantan Barat dengan Analisa SWOT. *Prosiding Management Business Innovation Conference (MBIC)*, 6, 1-6.
- Hartono, O. H., Hartati, S., and Kristijanto. 2017. Extraction and Chemical Compounds Identification of Red Rice Bran Oil Using Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS) Method. *Trevor Ashe*.
- Hotmian, E., Suoth, E., and Tallei, T. 2021. Gc-Ms (Gas Chromatography - Mass Spectrometry) Analysis of Nut Grass Tuber (*Cyperus Rotundus* L.) Methanolic Extract. *Pharmacon*, 10(2), 849-856.
- Indri, S., Lestari, P., Aprianingsih, T., Sumardani, T., Wicaksana, G., dan Sholiah, A. 2022. Pengaruh Suhu Terhadap Kelarutan dan Viskositas Pada Gula Pasir. *Jurnal Pendidikan IPA*, 11(1), 19-21.

- Insani, P. M., dan Rahmatsyah. 2021. Analisis Pola Struktur Kalsium Karbonat (CaCO_3) pada Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) di Bukit Kerang Kabupaten Aceh Tamiang. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 9(1), 23-32.
- Ismail, A.S., Rizal, Y., Armenia, A., and Kasim. 2021. Identification of bioactive compounds in gambier (*Uncaria gambir*) liquid by-product in West Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 22 (3), 1474-1480.
- Issabayev, Y. A., Boiko, G. I., Lyubchenko, N. P., Shaikhutdinov, Y. M., Muhr, H., Colombeau, L., Arnoux, P., and Frochot, C. 2018. Synthesis of Unexplored Aminophosphonic Acid and Evaluation as Scale Inhibitor for Industrial Water Applications. *Journal of Water Process Engineering*, 22, 192–202.
- Jayusman, M. 2014. *Mengenal Pohon Kemenyan (Styrax spp.) Jenis dengan Spektrum Pemanfaatan Luas yang Belum Dioptimalkan*. IPB Press Printing. Bogor.
- Jotho, Seno, A. P. B., dan Muryanto. 2013. Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) dalam Pipa Beraliran Laminer Dengan Parameter Konsentrasi Larutan dan Penambahan Aditif Asam Malat. *Prosiding SNST*, 4, 94–99.
- Kesuma, A. F. 2023. Studi Penambahan Campuran Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 Sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat (MgCO_3). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Khamis, E., Khalek, D. E., Fawzy, M., Soliman, K. A., Gaber, A. M. A., and Anwar, J. M. 2024. Innovative Application of Green Surfactants as Eco-Friendly Scale Inhibitors in Individual Water Systems. *Scientific Reports*. 1-17.
- Mahendra, I., and Azhar, S. 2022. Ekstraksi dan Karakterisasi Katekin dari Gambir (*Uncaria Gambir Roxb*). *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*, 11(1), 5–7.
- Mandela, B. S. 2017. Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat MgCO_3 pada Laju Alir 30 mL/menit dengan Konsentrasi Mg^{2+} 3000 ppm dan 4000 ppm. *Jurnal TRAKSI*, 17(2), 1-8.
- Marlinda. 2018. Identifikasi Kadar Katekin pada Gambir (*Uncaria gambir roxb*). *Jurnal Optimalisasi*, 4(1), 61-67.
- Martaningtyas, M., dan Ariesyady, H. D. 2018. Identifikasi Bahaya dan Analisis Risiko pada Jaringan Ipa Transmisi Crude Oil di Perusahaan Migas. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(2), 1-14.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., and Rahman, M. A. 2017. Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *Membrane Characterization*, 3–29.
- Mulyaningsih, S. 2018. *Kristalografi dan Mineralogi*. Akprind Press. Yogyakarta.

- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Sediono, W., Mangestiyono, W., and Sutrisno. 2012. Development of a Versatile Laboratory Project for Scale Formation and Control. *Education for Chemical Engineers*, 7, 78-84.
- Musnal, A. 2013. Mengatasi Kerusakan Formasi Dengan Metoda Pengasaman yang Kompetibel Pada Sumur Minyak Dilapangan X. *Jurnal of Earth, Energy, Engineering*, 1-7.
- Muttaqin, R., Sakti, W., Prayitno, W., and Nurbaiti, U. 2023. Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material: X-ray Diffractometer (XRD) Panalytical Xpert3 Powder. *Journal of Laboratory Issn*, 6(1), 8-13.
- Nagy, Z. K., and Braatz, R. D. 2012. Advances and New Directions in Crystallization Control. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 3, 55-75.
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., and Fiandini, M. 2023. Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(1), 113-126.
- Nawaz, H., Rehman, R., Mushtaq, A., and Umer Rashid, T. 2016. A review on bioactive potential of Benzoin Resin. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 10, 106-110.
- Ningsih, W. S. 2016. *Sintesis Anorganik*. UNP Press. Padang.
- Noviyanto, A. 2019. Analisa Komparasi Pembentukan Kerak Kupri Karbonat (CuCO_3) Pada Pipa Boiler dan Pipa Simulator. *Jurnal TRAKSI*, 18(2), 69.
- Nuraeni, W., Daruwati, I., Maria, E. W., dan Maula, E. 2013. Verifikasi Kinerja Alat Particle Size Analyzer (PSA) Horiba Lb-550 Untuk Penentuan Distribusi Ukuran Nanopartikel. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR*, 266-271.
- Oktaviyanti, A. S. 2024. Studi Penambahan Asap Cair Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Menggunakan Metode Seeded Experiment. *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Oramahi, H. A., Rusmiyanto, E., dan Kustiati. 2021. Penggunaan Asap Cair dari Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Pengendalian Jamur *Phytophthora citrophthora* Secara In Vitro. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 38(1), 34-38.
- Pamungkas, P., dan Djonu, A. 2022. Mikrostruktur dengan Scanning Electron Microscope dan Karakteristik Sensori pada Nori Alga Merah (*Gracilaria Gigas*) Microstructure with Scanning Electron Microscope and Sensory Characteristics in Nori Red Algae (*Gracilaria Gigas*). *Jurnal Agritepa*, 9(2), 1-7.

- Permana, M. A. I. 2017. Kajian Potensi Silica Scaling Pada Pipa Produksi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (Geothermal). *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 7(1), 39-43.
- Pratama, C. S. A., dan Sa'diyah. 2022. Pengaruh Jenis Biomassa Terhadap Karakteristik Asap Cair Melalui Metode Pirolisis. *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, 8(1), 36–44
- Raharjo, S. 2020. *Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral di dalam Pipa*. Universitas Muhammadiyah Semarang. Semarang.
- Rahayu, P., Putri, D. K., dan Indriyani, N. 2021. Pengaruh Diameter Pipa Pada Aliran Fluida Terhadap Nilai Head Loss. *Jurnal Agitasi*, 2(2), 2776–513.
- Rahmadyo, N., A., Dini, C., dan Samsudi, R. 2017. Perbandingan Analisa Kinetika Reaksi Pembentukan Kerak CaCO_3 Menggunakan Persamaan Arrhenius dan Analisa Differensial Scanning Calorimetry (DSC). *Prosiding Seminar Nasional Publikasi Hasil-Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*.
- Rani, S. R. A. 2022. Studi Analisis Data Difraksi Sinar-X Pada Material Zircon Pasir Alam Melalui Metode Rietveld. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(1), 16–22.
- Rizky, K. M., Mudzakir, A., Ragadhita, R., and Nandiyanto, A. B. D. 2024. Review of structural characterization of calcium carbonate (CaCO_3) using electron microscopy: Scanning Electron Microscope (SEM) and Transmission Electron Microscope (TEM). *Avalokana Journal of Literature Review*, 1(1), 1-13.
- Rosadinah, N. 2024. Pemanfaatan Ekstrak Sabut Sawit, Asap Cair Cangkang Sawit, dan Campurannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4). *Tesis*. Universitas Lampung. Lampung.
- Rosmaniar, L., Karelius., and Toemon, A. N. 2021. Aktivitas Antibakteri Disinfektan Berbahan Dasar Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, 11(2), 129-135.
- Saad, M. F., Goh, H. H., Rajikan, R., Yusof, T. R., Baharum, S. N., dan Bunawan, H. 2020. From Phytochemical Composition to Pharmacological Importance. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 19(8), 1767–1773.
- Sari, P. R. 2017. Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near- Wellbore hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Sari, W., dan Ginting, E., 2019. Pengaruh Variasi Konsentrasi Ekstrak Daun Alpukat (*Persea americana* M.) sebagai Inhibitor pada Baja SS-304 dalam Larutan HCl 1M. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 7(2), 207–208.
- Sarwendah, M., Wahyuni, T., Nindya, T. 2019. Pemanfaatan Limbah Komoditas Perkebunan Untuk Pembuatan Asap Cair. *Jurnal Littri*, 25(1), 22-30.

- Sebayang, L., dan Hardyani, M. A. 2020. *The Morphology Characteristics of Plant Gambir (Uncaria gambire Roxb.) in Pakpak Barat District. Jurnal Online Pertanian Tropik*, 7(2), 213–218.
- Septiano, A. F., Susilo., and Setyaningsih, N. E. 2021. Analisis Citra Hasil Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM EDX) Komposit Resin Timbal dengan Metode Contrast to Noise Ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81-85.
- Setiososari, E. 2018. Studi Penggunaan Asap Cair Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Menggunakan Metode Seeded Experiment. *Skripsi. Universitas Lampung. Lampung*.
- Sevcik, R., Sasek, P., and Viani, A. 2017. Physical and Nanomechanical Properties of The Synthetic Anhydrous Crystalline CaCO_3 Polymorphs: Vaterite, Aragonite, and Calcite. *Journal Mater Sci*, 1-12.
- Sianipar, E. A. 2023. Review: Potensi Resin Kemenyan (Styrax benzoin) dan Senyawa Aktifnya Dalam Pengobatan Penyakit. *Pharmaceutical And Biomedical Sciences Journal (PBSJ)*, 5(1), 17–22.
- Siregar, F. R., Tamrin, T., and Wirjosentono, B. 2020. Effect of Pyrolysis Temperature on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) and Organic Acid Compounds from Oil Palms Shell Liquid Smoke. *Journal of Chemical Natural Resources*, 2(2), 87-96.
- Suharso dan Buhani. 2012. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *Jurnal Natur Indonesia*, 13(2), 7-18.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulangan Kerak Edisi 2*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Suharso dan Buhani. 2019. Penghambat Kerak Ramah Lingkungan. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat. Universitas Lampung.
- Suharso, Buhani, Bahri, S., and Endaryanto, T. 2010. The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate (CaSO_4) Scale Formation. *Asian Journal Research Chemistry*, 3(1), 183-187.
- Suharso, Buhani, and Suhartati, T. 2009. The Role of C-Methyl-4,10,16,22 Tetramethoxy Calix [4] Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(2), 206 – 210.
- Suharso, Buhani, dan Aprilia, L. 2013. Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Prosiding Semirata FMIPA*. Universitas Lampung. Lampung.
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix [4] Arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*, 26(18), 6155–6158.

- Suharso, Buhani, Utari, H. R., Tugiyono, Satria, H. 2019. Influence of Gambier Extract Modification as Inhibitor of Calcium Sulfate Scale Formation. *Desalination and Water Research*, 169, 22-28.
- Suharso, Buhani, Yuwono, S. D. and Tugiyono. 2017. Inhibition of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment*, 68, 32-39.
- Suharso, Setiososari, E., Kiswandono, A. A., Buhani, and Satria, H. 2019. Aplikasi LS sebagai Green Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*, 2(2), 3-9.
- Suharso, Sabriani, N. A., Tugiyono, Buhani, dan Endaryanto, T. 2017. Kemenyan (Styrax benzoin Dryand) Extract as Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Crystallization. *Desalination and Water Treatment*, 92, 38-45.
- Sumini dan Bahri, S. 2021. Efektivitas Asap Cair sebagai Pestisida Organik dalam Mengendalikan Hama Kutu Daun (*Myzus pericae*) pada Tanaman Cabai. *Klorofil*, 26(2), 113-116.
- Susanti, N., Purba, J., and Simatupang, D. P. 2021. Increase Stability of Styrax benzoin Extract and Fraction with the Addition Cosolvent. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-5.
- Usamah, M. 2019. Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) dalam Pipa Beraliran Laminer dengan Variasi Temperatur dan Penambahan Aditif Asam Malat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$). *Jurnal Dintek*, 12(1), 29-37.
- Utari, H. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4). *Tesis*. Universitas Lampung. Lampung.
- Valiakhmetova, A., Sorbie, K. S., Boak, L. S., & Shaw, S. S. 2016. Solubility and Inhibition Efficiency of Phosphonate Scale Inhibitor Calcium Magnesium Complexes for Application in Precipitation Squeeze Treatment. *Society of Petroleum Engineers*, 24-26.
- Whitten, K., Davis, R. E., Peck, L., and Stanley, G. 2014. *Chemistry 10th Edition*. Mary Finch. USA.
- Wilastari, S., Hidayat, T. N., dan Akpelni, P. B. 2021. Pencegahan Kerak dan Korosi Umpun Ketel Uap Di Pg Mojo Sragen. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*, 3(1), 7-14.
- Winarno, T., dan Marin, J. 2020. *Mineralogi*. UNDIP Press. Semarang.