

STUDI PENAMBAHAN EKSTRAK BUAH MENINGKUDU (*Morinda citrifolia*) DAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT*

(SKRIPSI)

Oleh

**AZ ZAHRA JOANDA
2117011100**



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

ABSTRAK

STUDI PENAMBAHAN EKSTRAK BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) DAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE *SEEDED EXPERIMENT*

Oleh

Az zahra Joanda

Pada proses peindustrian, saluran pipa air dapat menimbulkan adanya pembentukan kerak. Potensi kerak salah satunya disebabkan oleh garam CaSO_4 yang ditemukan dalam hampir semua jenis saluran air sehingga menyebabkan terganggunya aliran akibat pengecilan diameter pipa dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian inhibitor campuran ekstrak mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit (MA) pada kerak kalsium sulfat (CaSO_4) menggunakan metode *seeded experiment* pada variasi konsentrasi larutan pertumbuhan CaSO_4 sebesar 0,0250; 0,0375; 0,0500; dan 0,0675 M yang diujikan pada variasi perbandingan konsentrasi inhibitor MA 1:5, 3:5, 5:5, dan 7:5.

Efektivitas tertinggi terjadi pada konsentrasi larutan pertumbuhan CaSO_4 0,0250 M dengan perbandingan konsentrasi inhibitor campuran MA 7:5 diperoleh persentase sebesar 155,46 %. Berdasarkan hasil analisis kualitatif menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa kerak CaSO_4 tanpa penambahan inhibitor seperti batang menumpuk dengan ukuran besar dan panjang yang terdiri dari fasa gipsum dan basanit, sedangkan setelah penambahan inhibitor permukaan kristal lebih pendek, tidak merata, dan rapuh yang terdiri dari fasa gipsum dan basanit dengan intensitas menurun, serta muncul fasa baru anhidrit. Analisis kuantitatif menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan bahwa kerak CaSO_4 sebelum dan setelah penambahan inhibitor mengalami penurunan ukuran kristal yakni nilai rata-rata (*mean*) dari 123,29 μm menjadi 109,81 μm dan nilai tengah (*median*) dari 104,14 μm menjadi 43,14 μm . Sehingga inhibitor campuran MA dapat digunakan sebagai penghambat kerak CaSO_4 .

Kata Kunci: asap cair cangkang kelapa sawit, ekstrak mengkudu, CaSO_4 , kerak, inhibitor

ABSTRACT

STUDY OF THE ADDITION OF NONI FRUIT EXTRACT (*Morinda citrifolia*) AND PALM OIL SHELL LIQUID SMOKE AS A CALCIUM SULFATE (CaSO₄) SCALE INHIBITOR USING THE SEEDED EXPERIMENT METHOD

By

Az zahra Joanda

In industrial processes, water pipes can cause scale formation. One of the potential scales is caused by CaSO₄ salts which are found in almost all types of water pipes, causing flow disruption due to reducing pipe diameters and inhibiting fluid flow in the pipe system. Due to these problems, this research was carried out by testing the inhibitor mixture of noni extract and palm oil shell liquid smoke (MA) was tested on calcium sulfate (CaSO₄) scale using the seeded experiment method at varying concentrations of the CaSO₄ growth solution of 0.0250; 0.0375; 0.0500; and 0.0675 M tested at various ratios of MA inhibitor concentrations of 1:5, 3:5, 5:5, and 7:5. The highest effectiveness occurred at the concentration of 0.0250 M CaSO₄ growth solution with a ratio of 7:5 mixture inhibitor MA concentration, yielded the effectiveness percentage value of 155.46 %. Based on the results of qualitative analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD), showed that the CaSO₄ scale without the addition of inhibitors such as rods that were piled, large-sized, and elongated consisting of gypsum and basanite phases, while after the addition of inhibitors, the crystal surface looked shorter, smaller size and fragile consisting of gypsum and basanite phases with decreased intensity, and a new anhydrite phase appears. Quantitative analysis using the Particle Size Analyzer (PSA) showed that the CaSO₄ scale after the addition, the inhibitors had decreased the crystal size with the average value (mean) from 123.29 µm to 109.81 µm and the middle value (median) from 104.14 µm to 43.14 µm. In conclusion, the mixture inhibitor (MA) can be used to overcome CaSO₄ scale inhibitors.

Keywords: palm oil shell liquid smoke, noni extract, CaSO₄, scale, inhibitors

STUDI PENAMBAHAN EKSTRAK BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) DAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE *SEEDED EXPERIMENT*

Oleh

AZ ZAHRA JOANDA

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 Skripsi

: **STUDI PENAMBAHAN EKSTRAK BUAH
MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) DAN ASAP
CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT
SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM
SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN
METODE *SEEDED EXPERIMENT***

Nama Mahasiswa

: **Az zahra Joanda**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2117011100**

Program Studi

: **Kimia**

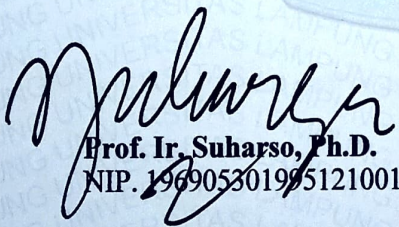
Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



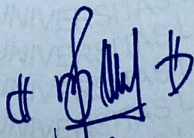
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Prof. Ir. Suharso, Ph.D.
NIP. 19690530195121001


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

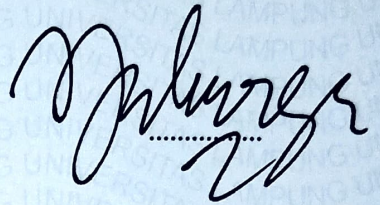
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.
NIP. 197205302000032001

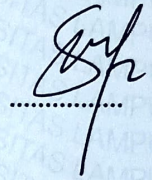
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

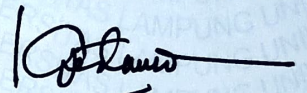
Ketua : Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D.



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

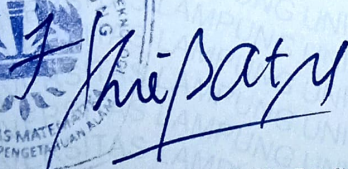


Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 24 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Az zahra Joanda
NPM : 2117011100
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Studi Penambahan Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*” adalah benar karya saya sendiri baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 22 Juli 2025

Yang menyatakan,



Az zahra Joanda

NPM. 2117011100

RIWAYAT HIDUP

Az-zahra Joanda lahir di Bandar Lampung, 02 Juli 2003. Penulis merupakan anak bungsu tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sudarto dan Ibu Dwi Aryati. Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK Tut Wuri Handayani pada tahun 2008 kemudian melanjutkan pendidikannya di SDN 2 Gunung Terang sampai tahun 2015. Pendidikan sekolah menengah pertama diselesaikan pada tahun 2018 di SMPN 25 Bandar Lampung. Pendidikan sekolah menengah atas diselesaikan pada tahun 2021 di SMAN 9 Bandar Lampung. Penulis mengikuti organisasi Ansamble ketika dibangku SMA dan aktif sebagai anggota paduan suara. Penulis terdaftar menjadi mahasiswi Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada tahun 2021 melalui jalur tertulis Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa kimia, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Anorganik I dan II tahun 2024 dan 2025. Selain itu, penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan mahasiswa di lingkungan Fakultas MIPA. Penulis memulai aktivitas organisasi sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) tahun 2021. Penulis juga mengikuti kegiatan Karya wisata Ilmiah yang diadakan oleh BEM FMIPA Unila tahun 2021 dan pernah menjabat sebagai anggota bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK) Himaki FMIPA Unila Periode 2022 dan 2023. Tahun 2024 penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul Identifikasi Barbitol dan Fenobarbital dalam Obat Tradisional Secara Kromatografi Lapis Tipis di Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM). Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Batumenyan, Kecamatan Teluk Pandan, Pesawaran pada Januari - Februari 2024.

MOTTO

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.

Seungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

“The most exciting phrase to hear in science, the one that heralds new discoveries, is not 'eureka!' but ‘that's funny...’”

(Isaac Asimov)

“Knowledge is power”

(Francis Bacon)

“It wasn't all sunshine and rainbows. You have to learn from every curveball to become this butterfly. From starlit reverie, a new horizon dawns”

(Az-zahra Joanda)

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillah rabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya. Dengan segala kerendahan hati dan rasa syukur yang tak terhingga, kupersembahkan karya sederhana yang lahir dari perjuangan dan dedikasi sebagai bukti cinta, terima kasih, dan tanggung jawab kepada:

Kedua orang tuaku, yang selalu memberikan cinta dan dukungan. Atas setiap tetes keringat, doa tak henti, dan pengorbanan tiada batas menjadi pondasi terkuat dan sumber inspirasi abadi. Semoga karya sederhana ini dapat menjadi kebanggaan dan kebahagiaan bagi kalian.

Untuk kedua kakakku, atas setiap dukungan, nasihat, dan tawanya, serta kepercayaannya hingga sampai pada tahap ini.

Dengan rasa hormat, kepada Prof. Ir. Suharso, Ph.D., Prof. Dr. Buhani, M.Si., Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc., serta seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan ilmunya.

Sahabat dan teman-temanku yang telah memberikan kebahagiaan, pengalaman, dan kebersamaan sebagai energi tak ternilai. Yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan

Dan almamater tercinta, Universitas Lampung.

SANWANCANA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang melimpahkan rahmat, hidayah, nikmat, dan keridhoan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Penambahan Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*” sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada baginda Rasullallah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, serta seluruh umatnya yang selalu taat menjalankan ajaran-Nya.

Skripsi ini diselesaikan berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca. Banyak bantuan, bimbingan, serta dukungan yang penulis dapat dari berbagai pihak sehingga skripsi dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah memberikan kemudahan, mendengarkan, dan mengabulkan doa penulis, serta senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Sudarto dan Ibu Dwi Ariati yang selalu tak henti-hentinya memberikan kasih sayang, doa, dukungan, nasihat, semangat, motivasi, dan materi untuk keperluan penulis. Terima kasih atas perjuangan dan pengorbanan bapak dan ibu. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan limpahan rahmat, rezeki, kesehatan, dan umur yang panjang agar

bisa selalu mendampingi dan menyaksikan perjalanan hidup penulis untuk membahagiakan bapak dan ibu kelak; *Aamiin Allahuma Aamiin*.

3. Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku dosen pembimbing utama yang telah bersedia membimbing penulis dan banyak memberikan masukan, saran, arahan, ilmu, dukungan, bantuan, nasihat, dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan bapak dan senantiasa diberikan keberkahan.
4. Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, nasihat, saran, kritik, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan ibu dan senantiasa diberikan keberkahan.
5. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembahas yang telah memberikan bimbingan, saran, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan bapak dan senantiasa diberikan keberkahan.
6. Ibu Devi Nur Anisa, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik, penulis mengucapkan terima kasih atas ketersediaan ibu dalam memberikan bimbingan perkuliahan, nasihat, serta motivasi kepada penulis.
7. Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
9. Seluruh dosen Kimia FMIPA Universitas Lampung atas segala ilmu, pengalaman, motivasi, dan nasihat selama perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan Ibu.
10. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas segala ilmu, pengalaman, dan bantuan kepada penulis.
11. Mbak Liza selaku laboran atas penyediaan alat laboratorium, kemudahan dalam mengurus berkas, dan bantuan dalam proses penelitian.
12. Kakak-kakakku yang aku cintai M. Riswandha Imawan, S.Pt. dan Amanda Amalia Putri, S.Si. yang telah mendoakan dan memberikan dukungan serta saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi. Kakak-kakak iparku

Irma dan Siswo, serta ponakan-ponakanku Qansha, Naqi, dan Qeila yang juga selalu mendoakan dan mendukung hingga tahap ini.

13. Sahabat seperjuangan *chemistry* penulis Nadira Anjani, Trie Choirunnisa Dzilhaj, Naurah Nabilah, Ramandhika Abi Karami, Putu Devi Prastya Sari, Amalia Triananda, Dini Aulia Adha, Aziza Ulma'rifah, dan Wahyuni Eka Putri yang selalu mendengarkan keluh kesah, mendukung, serta memberikan motivasi untuk penulis. *Thanks for being a rainbow in someone's cloud!*
14. Rekan seperbimbingan *Aco's Research*: Nadira, Ainun, Zuanita, dan Rachel sahabat yang memberikan motivasi dan semangat. *See You on Top, guys!*
15. Sahabat 'Bintang' Hisbi, Sasa, Meta, Chita, Rama, Reza, Alif, Rafli, Pakom, dan Haidar. *A mess of gorgeous chaos!*
16. Seluruh teman-teman laboratorium di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik yang telah menemani dan saling menyemangati selama penelitian.
17. Sahabat sedari kecil Yolanda, Nisa, dan Lia yang selalu mendukung penulis.
18. Teman-teman PKL di BPOM Nadira, Hana, Reina, Uzi, Faza, Maria, Djana, dan Sindy, serta kakak-kakak BPOM yang telah memberikan ilmu, pengalaman, dan nasihat kepada penulis.
19. Kakak scale Kak Fara, Kak Tyas, dan Kak Sarah atas bantuan dan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
20. Keluarga besar mahasiswa Jurusan Kimia angkatan 2021 atas kebersamaan, dukungan, dan semangatnya.
21. *Partner KKN*: Devi, Avi, Andra, Diva, Arkan, dan Indri untuk kebersamaan dan kekeluargaan selama 40 harinya. *The best people come unexpectedly!*
22. Almamater tercinta Universitas Lampung.
23. Seluruh pihak yang terlibat dan tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala dukungan serta doa yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 22 Juli 2025

Az zahra Joanda

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
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.....	5
2.2 Kerak	5
2.3 Mekanisme Pembentukan Kerak.....	6
2.3.1 Pengumpulan	7
2.3.2 Nukleasi.....	7
2.3.3 Pertumbuhan Kristal.....	8
2.3.4 Aglomerasi	8
2.4 Faktor-faktor Pembentukan Kerak	9
2.4.1 Kristalisasi	9
2.4.2 Derajat Lewat Jenuh (Supersaturasi).....	11
2.4.3 Kelarutan Endapan	12
2.5 Jenis Kerak	13
2.6 Kalsium Sulfat (CaSO_4)	15
2.7 Pengaruh Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4).....	18
2.8 Metode Pencegahan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4)	19
2.9 Kandungan Buah Mengkudu.....	22
2.10 Asap Cair (<i>Liquid Smoke</i>)	24
2.10.1 Sifat Fisik dan Kimia Asap Cair	26
2.11 <i>Seeded Experiment</i>	27
2.12 Analisis Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4)	27
2.12.1 Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	28
2.12.2 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	29

2.12.3	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	30
2.12.4	<i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	31
2.12.5	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	32
III	METODE PENELITIAN.....	33
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2	Alat dan Bahan	33
3.3	Prosedur Kerja.....	34
3.3.1	Pembuatan Ekstrak Buah Mengkudu	34
3.3.2	Pembuatan Bibit Kristal	35
3.3.3	Pembuatan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit	35
3.3.4	Pembuatan Inhibitor dari Campuran Ekstrak Kulit Buah Mengkudu dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit	37
3.3.5	Pengujian Campuran Ekstrak Kulit Buah Mengkudu dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor.....	38
3.6	Analisis Data	40
3.7	Diagram Alir Penelitian	41
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1	Uji Ketahanan Inhibitor.....	42
4.2	Analisis Inhibitor Menggunakan Spektrofotometer FT-IR.....	44
4.3	Analisis Inhibitor Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS)</i>	46
4.4	Laju Pertumbuhan Kristal CaSO_4 Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda	50
4.5	Laju Pertumbuhan Kristal CaSO_4 dengan Penambahan Inhibitor pada Beberapa Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan	52
4.5.1	Laju Pertumbuhan CaSO_4 dengan Inhibitor Ekstrak Mengkudu	52
4.5.2	Laju Pertumbuhan CaSO_4 dengan Perbandingan Inhibitor Campuran (MA)	55
4.6	Analisis Kualitatif Kerak CaSO_4	62
4.7	Analisis Morfologi Kerak CaSO_4 Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	64
4.8	Analisis Fasa Kerak CaSO_4 Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	66
4.9	Analisis Distribusi Ukuran Partikel CaSO_4 Menggunakan <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	68
4.10	Mekanisme Penghambatan Kerak.....	67
V.	SIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1	Simpulan.....	71
5.2	Saran.....	72
	DAFTAR PUSTAKA	73
	LAMPIRAN.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jenis Komponen Endapan Kerak	14
2. Klafikasi Pendedapan Kerak	15
3. Bentuk-bentuk Kalsium Sulfat, Komposisi, dan Kestabilannya.....	16
4. Hasil Analisis Kadar Air dan Nilai Kalori	36
5. Hasil Pengukuran Pirolisis	36
6. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak buah mengkudu dan asap cair ...	38
7. Gugus Fungsi hasil analisis FTIR ekstrak mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit	45
8. Kandungan dalam ekstrak mengkudu	47
9. Hasil kromatogram GC-MS yang terkandung dalam ekstrak mengkudu	48
10. Komponen kimia dalam asap cair cangkang kelapa sawit.....	49
11. Nilai pH esktrak mengkudu dan larutan pertumbuhan CaSO_4	52
12. Nilai efektivitas laju pertumbuhan CaSO_4	54
13. Nilai pH perbandingan konsentrasi inhibitor campuran MA	56
14. Nilai pH larutan pertumbuhan sebelum dan sesudah penambahan inhibitor..	56
15. Data perbandingan efektivitas inhibitor campuran MA terhadap laju pertumbuhan kerak CaSO_4	59
16. Berat CaSO_4 Tanpa Penambahan Inhibitor	82
17. Berat CaSO_4 larutan pertumbuhan 0,0250 M.....	82
18. Berat CaSO_4 larutan pertumbuhan 0,0375 M.....	82
19. Berat CaSO_4 larutan pertumbuhan 0,0500 M.....	83
20. Dengan Penambahan Asap Cair	83
21. Berat CaSO_4 larutan pertumbuhan 0,0250 M.....	83
22. Berat CaSO_4 larutan pertumbuhan 0,0375 M.....	84
23. Berat CaSO_4 larutan pertumbuhan 0,0500 M.....	84
24. Berat CaSO_4 larutan pertumbuhan 0,0625 M.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Proses pembentukan kristal	10
2. Diagram pembentukan inti kristal	12
3. Kelarutan berbagai bentuk kalsium sulfat dalam air sebagai fungsinya	17
4. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal	21
5. Buah Mengkudu	22
6. Cangkang Kelapa Sawit dan Asap Cair	26
7. Morfologi Kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,0500 M	30
8. Diagram Alir Penelitian	41
9. Larutan inhibitor ekstrak buah mengkudu tanpa penambahan asap cair	43
10. Larutan inhibitor MA (a) 1:5 (b) 3:5 (c) 5:5 dan (d) 7:5	43
11. Spektrum IR (a) inhibitor ekstrak mengkudu dan (b) asap cair cangkang kelapa sawit	44
12. Kromatogram ekstrak mengkudu	46
13. Kromatogram asap cair cangkang kelapa sawit	49
14. Grafik laju pertumbuhan kerak CaSO_4 tanpa penambahan inhibitor	51
15. Grafik laju pertumbuhan kerak CaSO_4 dengan inhibitor ekstrak mengkudu	53
16. Grafik Laju Pertumbuhan kerak CaSO_4 0,0250 M dengan asap cair	55
17. Laju pertumbuhan kerak CaSO_4 dengan inhibitor MA	57
18. Persen efektivitas inhibitor MA terhadap laju pertumbuhan CaSO_4	59
19. Perbandingan inhibitor sebelum dan sesudah penambahan asap cair cangkang kelapa sawit dengan perbandingan MA 7:5	60
20. Perbedaan larutan pertumbuhan CaSO_4 0,0250 M (a) Tanpa penambahan inhibitor dan (b) Dengan penambahan inhibitor campuran MA 7:5	62
21. Perbandingan Kerak CaSO_4 0,0250 M (a) tanpa inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor campuran MA 7:5	63
22. Morfologi kerak CaSO_4 tanpa inhibitor pada konsentrasi 0,0250 M dengan perbesaran (a) 2500x dan (b) 5000x	64
23. Morfologi kerak CaSO_4 dengan penambahan inhibitor campuran MA 7:5 pada konsentrasi 0,0250 M dengan perbesaran (a) 2500x dan (b) 5000x	64
24. Difraktogram kerak CaSO_4 (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor campuran MA 7:5 (G=Gypsum, B=Basanit, A=Anhidrit)	66
25. Hasil analisis PSA kerak CaSO_4 (a) Tanpa penambahan inhibitor dan (b) Dengan penambahan inhibitor 7:5	68

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagian besar bidang perindustriannya adalah industri kimia, minyak dan gas, serta proses desalinasi. Pengerakan saluran pipa air dan industri, limbah pabrik, limbah rumah sakit, dan saluran pipa lainnya adalah masalah yang serius karena dapat menyebabkan kerugian signifikan. Keadaan hidrodinamik dan termal suatu sistem menyebabkan terbentuk proses pembentukan kerak atau kristal, atau akibat kinetik kimia, dan sifat zat kimia seperti kalsium, klorida, sulfat, nitrat, besi, tembaga, atau aluminium yang dipengaruhi oleh berbagai faktor: kadar air, kondisi larutan lewat jenuh, laju air, suhu, jenis pengotor, jumlah inhibitor untuk menyerap ion, pH, dan faktor lainnya (Merdah dan Yassin, 2007). Kerak akan menempel pada dinding pipa karena pengendapan garam mineral menyebabkan terganggunya aliran karena pengecilan *inside* diameter pipa dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut (Shukeir, 2005).

Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kiaei dan Haghtalab, 2014). Permasalahan kerak ini berdampak negatif pada industri, salah satunya adalah PT. Pertamina, Tbk yang harus mengganti setiap bagian pipa geotermal yang rusak setiap 10 tahun sekali (Suharso *et al.*, 2010; Suharso *etl al.*, 2017a; Suharso *etl al.*, 2017b). Kebanyakan kerak terdiri dari kalsium karbonat, kalsium sulfat, besi sulfida, strontium sulfat, dan barium sulfat. Evaluasi untuk memperkirakan kecenderungan pembentukan kerak biasanya difokuskan pada kerak jenis sulfat ataupun karbonat (Yan *et al.*, 2021).

Potensi kerak yang disebabkan oleh garam CaSO_4 ditemukan dalam hampir semua jenis air, termasuk air tanah, air payau, air laut, dan air limbah. Sejauh ini, diketahui bahwa CaSO_4 bertanggung jawab atas kerak yang terjadi pada beberapa sistem, seperti instalasi *cooling water*. Kombinasi dua cairan kimia tidak kompatibel adalah penyebab utama kerak terbentuk selama aktivitas industri. Misalnya, ketika air laut yang diinjeksi mengandung ion sulfat konsentrasi tinggi dicampur air formasi ion sulfat konsentrasi tinggi, kalsium sulfat akan mengendap setelah batas kelarutannya terlampaui (Murtaza *et al.*, 2022).

Pembentukan kerak dapat dicegah dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air, akan tetapi penggunaan air bebas mineral dalam industri besar membutuhkan biaya tinggi. Pada industri minyak dan gas, metode mengatasi pembentukan kerak biasanya menggunakan bahan kimia yang dikenal sebagai inhibitor (Sousa and Bertran, 2014). Kerak juga dapat dicegah menggunakan aditif asam untuk menurunkan pH larutan. Namun, penggunaan asam dengan konsentrasi tinggi dapat menjadi tidak efektif karena dapat menyebabkan peningkatan laju korosi yang cukup tinggi (Wang *et al.*, 2010). Hal inilah yang mendasari penelitian lebih lanjut mengenai inhibitor kerak efektif dan ramah lingkungan, karena biaya relatif lebih murah, menggunakan konsentrasi rendah, dan dapat mencegah kerak dalam periode waktu yang lama.

Asam askorbat, alkaloid, flavanoid, dan *phenolic* beberapa contoh senyawa yang dapat digunakan sebagai inhibitor hijau. Mengkudu (*Morinda citrifolia*) merupakan jenis tanaman yang mengandung banyak senyawa, seperti asam askorbat, flavanoid, alkaloid, dan senyawa *phenolic* yang berpotensi sebagai inhibitor kerak (Kusumastuti, 2012). Berdasarkan penelitian Hatam dkk., (2013), senyawa *phenolic* terkandung dalam buah mengkudu adalah senyawa yang mengandung gugus fenol dan polifenol yang diharapkan dapat menghambat proses oksidasi. Selain itu, memiliki gugus $-\text{OH}$ yang dapat mengikat logam berat seperti Ca^{2+} , sehingga dapat larut dalam air atau alkohol.

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah pengolahan minyak kelapa sawit yang cukup besar (Faiz, 2015). Limbah cangkang kelapa sawit dapat diolah menjadi produk yang bernilai ekonomi, yaitu asap cair melalui pirolisis. Proses pirolisis cangkang kelapa sawit seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin menghasilkan zat atau senyawa dalam tiga bentuk, yaitu padatan berupa karbon, cairan (asap cair dan tar), dan gas yang tidak terkondensasi. Penelitian Sarwendah dkk., (2019) menghasilkan proses pirolisis cangkang sawit dengan kandungan senyawa fenol, karbonil, dan asam asetat. Adanya kandungan asam asetat memungkinkan asap cair cangkang kelapa sawit dikembangkan sebagai inhibitor kerak kalsium sulfat. Asap cair cangkang kelapa sawit dipadukan dengan ekstrak buah mengkudu untuk memperoleh inhibitor kerak yang semakin berkualitas dan efektif untuk menghambat laju pertumbuhan kerak. Oleh karena itu, dilakukan penelitian penambahan asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu sebagai inhibitor kerak CaSO_4 menggunakan metode *seeded experiment* pada konsentration larutan pertumbuhan dan konsentration inhibitor yang berbeda.

Metode *seeded experiment*, yaitu salah satu metode pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif inhibitor asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor. Selanjutnya, menggunakan inhibitor ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit, dilakukan analisis laju pertumbuhan kerak CaSO_4 menggunakan berbagai instrumen. Penambahan bibit kristal dilakukan untuk mempercepat proses kristalisasi. Area permukaan bibit kristal akan mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Semakin cepat proses kristalisasi berjalan, semakin cepat inti kristal kalsium sulfat berkembang untuk membentuk kristal yang lebih besar.

Asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu dianalisis gugus fungsional dalam campuran inhibitor menggunakan *Spektrofotometer Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) dan analisis kandungan senyawa kimia menggunakan *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS). Analisis morfologi CaSO_4 menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), analisis

untuk mengetahui distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA), dan analisis untuk mengetahui bentuk kristal CaSO_4 menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Berdasarkan beberapa uraian diatas, maka dalam penelitian ini akan dipelajari tentang penambahan ekstrak buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor pembentukan kerak kalsium sulfat (CaSO_4) menggunakan metode *seeded experiment*.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh penambahan campuran ekstrak buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan asap cair cangkang kelapa sawit terhadap pertumbuhan kerak CaSO_4 pada variasi konsentrasi yang telah ditentukan.
2. Mengetahui efektivitas campuran ekstrak buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor pertumbuhan kerak CaSO_4 menggunakan *seeded experiment* melalui analisis data dan karakterisasi menggunakan SEM, X-RD, dan PSA.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian adalah dapat memberikan informasi mengenai pengaruh dan efektivitas penambahan campuran ekstrak buah mengkudu (*Morinda citrifolia*) dan asap cair cangkang kelapa sawit terhadap pertumbuhan kerak CaSO_4 .

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pengendapan Senyawa Anorganik

Pengendapan senyawa anorganik dapat terjadi pada peralatan industri yang menggunakan air garam. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur anorganik pembentukan kerak seperti logam kalsium (Ca^{2+}) dalam jumlah melebihi kelarutan pada keadaan kesetimbangan (Amjad, 1998). Endapan mineral anorganik dapat dengan mudah terbentuk pada permukaan aliran air formasi, yang merupakan air yang ikut terproduksi bersama minyak dan gas. Ketika konsentrasi larutan memiliki kandungan ion terlarut yang tinggi, seperti kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , dan Fe^{3+}) dan anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , dan CO_3^{2-}), serta ketika harga kelarutan terlampaui, senyawa tidak lagi larut dan akan terpisah dari larutan. Kondisi ini dapat terjadi pada membran atau proses desalinasi termal (Al Roomi *et al.*, 2015; Irawan, 2016). Selama proses ini, tekanan akan menurun dan suhu akan mengalami perubahan. Perubahan ini menyebabkan keseimbangan dalam air formasi terganggu. Akibatnya, reaksi kimia antara kation dan anion akan membentuk endapan berupa kristal (Sari, 2011).

2.2 Kerak

Suatu deposit senyawa anorganik yang terendapkan yang membentuk timbunan kristal pada permukaan substansi disebut kerak (Kemmer, 1979). Sebagian besar kerak merupakan garam anorganik yang mengendap melalui presipitasi pada kondisi air lewat jenuh. Terjadinya kerak tergantung pada spesifiknya kondisi

suhu, tekanan, pH, tekanan parsial CO₂, dan lainnya. Pada kondisi ekstrim garam tetap larut dalam air dan masalah kerak tidak ditemui. Namun, ketika kondisi berubah dan air menjadi lewat jenuh pada kondisi reservoir optimal, maka kerak akan mulai mengendap. Endapan kerak bersifat kedap air dan cenderung terakumulasi pada permukaan padat. Kecenderungan pengendapan kerak meningkat seiring dengan meningkatnya kekasaran permukaan, yang membuat pengendapan lapisan berikutnya lebih mudah. Akibatnya, secara bertahap semakin banyak lapisan kerak yang mengendap di permukaan (Kumar *et al.*, 2018).

Beberapa molekul unsur kimia yang larut dalam air, akan bergabung untuk membentuk inti kristal dalam keadaan larutan yang lewat jenuh. Jika ukuran inti kristal lebih kecil dari ukuran partikel kritis (inti kritis), inti kristal akan terlarut, sementara jika ukurannya lebih besar dari partikel kritis, kristal akan berkembang. Kristal-kristal yang telah terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Karliana, 2009). Kerak dapat terbentuk karena campuran air yang digunakan tidak sesuai. Campuran air tersebut tidak sesuai jika air berinteraksi secara kimia dan mineralnya mengendap jika dicampurkan. Air laut dengan konsentrasi SO₄²⁻ tinggi dan konsentrasi Ca²⁺ rendah serta air formasi dengan konsentrasi SO₄²⁻ sangat rendah tetapi konsentrasi Ca²⁺ tinggi adalah beberapa contoh campuran air yang tidak sesuai yang dapat menyebabkan kerusakan. Endapan CaSO₄ terbentuk sebagai hasil dari campuran air ini (Badr dan Yassin, 2007).

2.3 Mekanisme Pembentukan Kerak

Pembentukan kerak adalah fenomena kompleks dan melibatkan mekanisme kristalisasi. Kristalisasi dan pengendapan kerak selanjutnya terjadi ketika aktivitas kation dan anion dalam larutan melebihi batas jenuhnya sehingga larutan menjadi lewat jenuh. Selain itu, kinetika reaksi juga merupakan bagian penting yang memengaruhi luasnya bentuk kerak (Al-Roomi *and* Hussain, 2016).

Pembentukan kerak terjadi melalui dua mekanisme kristalisasi: kristalisasi permukaan dan massal (Antony *et al.*, 2011). Kristalisasi permukaan terjadi karena mekanisme nukleasi heterogen dan kristalisasi massal terjadi karena mekanisme nukleasi homogen. Pada nukleasi homogen, tidak ada peran benda asing dan nukleasi terjadi dalam larutan massal pada fase cair. Oleh karena itu, partikel kerak yang terbentuk dapat mengalir melalui sistem tanpa membentuk deposit atau dapat diendapkan sebagai sedimen. Di sisi lain, adanya zat asing menyebabkan pengendapan kerak terbentuk pada permukaan padat peralatan yang ditemui. Akibatnya, nukleasi heterogen terjadi. Zat asing tersebut dapat berupa inti kerak, padatan tersuspensi, serta lokasi korosi pada permukaan logam (Olajire, 2015). Salah satu faktor yang menyebabkan kerak adalah korosi. Hal ini sering diabaikan tetapi faktanya logam terkorosi menghasilkan Fe^{2+} dan Fe^{3+} kation dalam fluida yang mengalir, yang menyebabkan pembentukan besi sulfida (besi), kerak besi karbonat, dan oksida (Frenier *and* Ziauddin, 2008). Pada prosesnya, kerak terbentuk melalui beberapa tahap, yaitu sebagai berikut (Al-Roomi *and* Hussain, 2016).

2.3.1 Pengumpulan

Ketika larutan mencapai keadaan lewat jenuh, kation dan anion, seperti Ca^{2+} dan CO_3^{2-} atau SO_4^{2-} , akan bertabrakan untuk membentuk pasangan ion. Selanjutnya, terbentuk mikro-*aggregate*, yang berfungsi sebagai pusat kecil kristal, embrio, dan inti mikro.

2.3.2 Nukleasi

Pengendapan terjadi secara spontan. Inti dapat terdiri dari beberapa molekul atau ion komponen endapan yang tumbuh secara berdekatan. Partikel halus tidak memiliki ikatan kimia dengan endapan, tetapi strukturnya mirip dengan kisi kristal. Nukleasi dapat terjadi pada substrat dan juga dalam cairan massal dengan rasio saturasi yang lebih tinggi. Mikro-*aggregate* ini berfungsi sebagai pusat nukleasi yang bertindak dipembentukan mikrokristal. Nukleasi terdiri dari dua

jenis berdasarkan pembentukannya: nukleasi primer dan nukleasi sekunder. Nukleasi primer terjadi dalam sistem yang tidak memiliki kristal sama sekali dan disebut nukleasi homogen. Nukleasi primer yang terjadi secara spontan karena mencapai supersaturasi disebut nukleasi heterogen. Nukleasi sekunder adalah nukleasi yang diinduksi oleh partikel lain, yaitu karena tumbukan kristal dengan dinding *agitator* dan *crystallizer*, serta *shear stress* fluida (Yuni dkk., 2008).

2.3.3 Pertumbuhan Kristal

Pengolahan air yang melibatkan proses pengendapan seringkali tidak mencapai kesetimbangan, lapisan ion komponen endapan pada permukaan inti membentuk kristal. Mikrokrystal yang terbentuk dalam larutan menggumpal dan/atau terserap ke permukaan padat membentuk mikrokrystal pengendapan.

2.3.4 Aglomerasi

Pada berbagai kondisi reaksi, padatan yang awalnya terbentuk melalui pengendapan kemungkinan bukan padatan yang paling stabil secara termodinamika. Jika demikian, struktur kristal endapan dapat berubah menjadi fasa stabil dalam jangka waktu tertentu. Perubahan ini melibatkan penambahan endapan dan penurunan konsentrasi larutan, karena fasa yang stabil biasanya memiliki kelarutan yang lebih kecil dari fasa yang dibentuk sebelumnya. Jika ukuran kristal endapan meningkat, pematangan juga terjadi dengan cara yang sama. Partikel yang lebih kecil memiliki energi permukaan yang lebih besar dari partikel yang besar, sehingga konsentrasi larutan dalam kesetimbangan untuk partikel yang lebih besar sebanding dengan partikel yang lebih besar. Akibatnya, pada ukuran partikel yang beragam partikel yang lebih besar terus bertambah, karena konsentrasi larutan masih dalam keadaan lewat jenuh. Partikel yang lebih kecil melarut karena konsentrasi larutan saat ini belum diketahui harga jenuhnya. Pada fase ini, kristal mikro yang terbentuk mulai tumbuh secara bertahap karena adsorpsi ion kerak tambahan dalam larutan, dan kerak mulai terbentuk dipermukaan.

2.4 Faktor-faktor Pembentukan Kerak

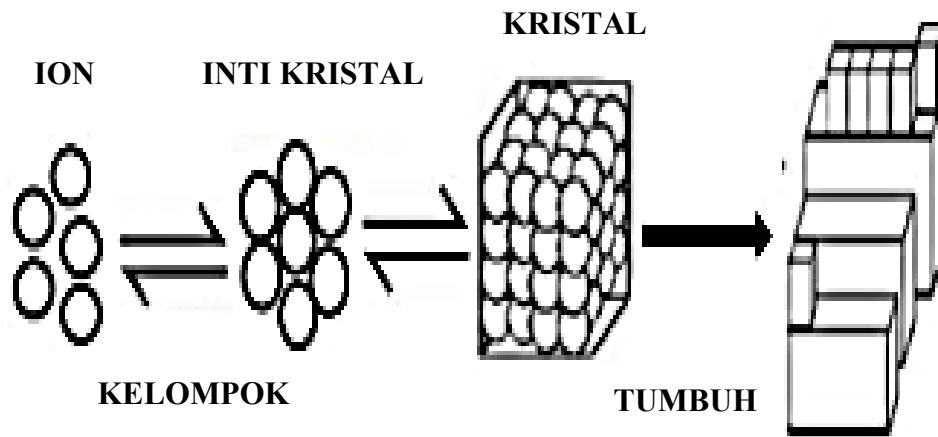
Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan suatu kerak, bertumbuhnya kerak, serta mengendapnya kerak: perubahan kondisi dan penurunan tekanan reservoir, perubahan temperatur, pencampuran dua jenis air yang mempunyai susunan mineral tidak sesuai, supersaturasi, penguapan akibat dari perubahan konsentrasi, pengadukan, waktu kontak antara kerak dengan permukaan pipa, serta perubahan pH air (Alice *et al.*, 2011).

Air mempunyai batas kemampuan dalam melarutkan senyawa yang terbentuk dari ion-ion mineral, sehingga pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu di mana nilai kelarutan terlampaui, maka senyawa tersebut tidak akan terlarut lagi, melainkan terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padatan. Perubahan kelarutan dalam proses produksi terjadi bersamaan dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama produksi. Perubahan angka kelarutan pada tiap zat terlarut dalam susunan air akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air sadah, sehingga akan menyebabkan terjadi reaksi kimia antara ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dengan terbentuknya suatu senyawa endapan yang berupa kerak. Berdasarkan hal ini, faktor yang mempengaruhi pembentukan dan pengendapan kerak antara lain adalah sebagai berikut:

2.4.1 Kristalisasi

Pembentukan partikel padatan dalam fasa homogen dikenal sebagai kristalisasi. Ini dapat terjadi dalam fasa uap, seperti pembentukan kristal salju, pemadatan cairan pada titik lelehnya, atau sebagai kristalisasi dalam suatu larutan (cair). Keseragaman ukuran kristal individu dan ukurannya secara keseluruhan adalah sifat penting kristal. Untuk alasan ini, distribusi ukuran kristal (*Crystal Size Distribution*) harus selalu dikontrol. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap ukuran kristal yang dihasilkan adalah kecepatan nukleasi dan *growth rate*. Sedangkan nukleasi dan *growth rate* dipengaruhi oleh kondisi supersaturasi,

keasaman, suhu, adanya bibit dan atau *impurity*, serta surfaktan dalam kristalisator (Mc Cabe and Warren, 1985).



Gambar 1. Proses pembentukan kristal (Zeiher *et al.*, 2003)

Menurut Brown (1978) dan Foust (1980), pertumbuhan kristal dapat terjadi jika konsentrasi suatu zat terlarut dalam larutannya melewati kadar kelarutan lewat jenuhnya pada suhu tertentu. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat dicapai dengan pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan, dan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya. Pada Gambar 1 terlihat tahap proses kristalisasi. Pertama, zat padat baru mulai terbentuk. Kedua, tahap pembentukan inti. Pada tahap ini, inti zat padat yang baru terbentuk berkembang menjadi kristal yang lebih besar.

Pada dasarnya pertumbuhan adalah fenomena transfer massa dari fasa cair (larutan) ke fasa padat (kristal). Oleh karena itu, secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi transfer massa juga mempengaruhi pertumbuhan kristal. Berikut adalah beberapa faktor (Yuni dkk., 2008):

1. Temperatur

Pertumbuhan kristal pada temperatur tinggi dikontrol oleh difusi, sedang pada temperatur rendah dikontrol oleh *surface integration* (Mullin, 2001).

2. Ukuran kristal

Partikel berukuran lebih besar mempunyai kecepatan terminal lebih besar. Oleh karena itu, pada pertumbuhan yang dipengaruhi difusi, semakin besar partikel, semakin rendah kecepatan pertumbuhannya.

3. *Impurities*

Beberapa impurities dapat meningkatkan laju pertumbuhan, beberapa yang lainnya menghambat pertumbuhan. Beberapa impurities dapat mempengaruhi pertumbuhan dalam jumlah yang sangat kecil, beberapa yang lain berpengaruh jika jumlahnya cukup banyak.

2.4.2 Derajat Lewat Jenuh (Supersaturasi)

Keseluruhan jumlah padatan yang dapat terkandung dalam suatu larutan disebut sebagai kelarutan, dan larutan yang tidak mampu melarutkan padatan lagi disebut larutan jenuh. Supersaturasi adalah keadaan dimana larutan mengandung konsentrasi padatan terlarut yang lebih tinggi daripada konsentrasi kesetimbangan (jenuh) (Yuni dkk., 2008). Kondisi supersaturasi diperlukan untuk kristalisasi. Kondisi supersaturasi dapat dicapai dengan beberapa cara (Fachry, 2008):

1. Pengubahan suhu

Temperatur saturasi adalah titik suhu pada tekanan tertentu yang tidak dapat meningkat sampai fasanya berubah. Sehingga, titik didih adalah suhu saturasi.

2. Penguapan

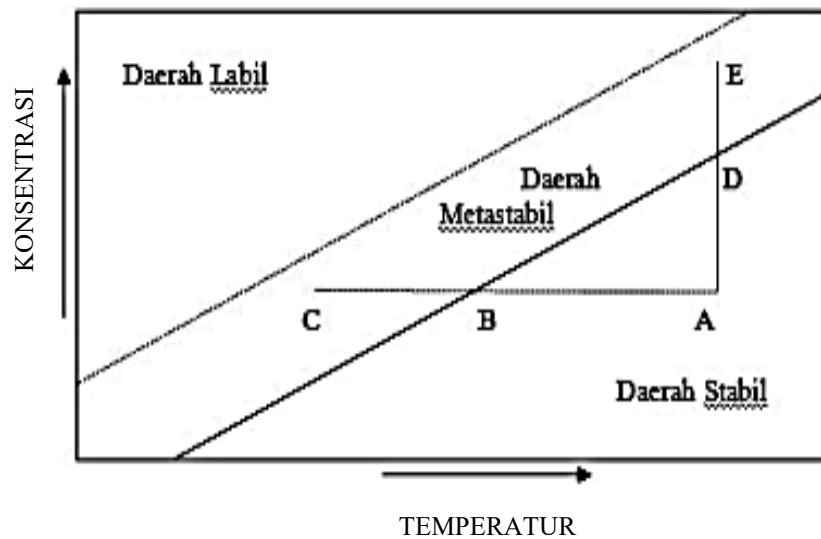
Larutan disiapkan dalam evaporator untuk dipekatkan, lalu dikristalkan dengan pendingin. Cara ini digunakan untuk zat yang mempunyai kurva kelarutan agak dalam.

3. Reaksi kimia

Tahap difusi atau tahap reaksi dapat mengontrol reaksi pertumbuhan kristal. Jika tahap difusi adalah pengontrol, laju pertumbuhan kristal dapat ditingkatkan dengan meningkatkan laju pengadukan.

4. Penambahan komponen ketiga (*salting*)

Ketika konsentrasi padatan dalam suatu larutan melebihi konsentrasi jenuh larutan, kristal pertama kali terbentuk terjadi karena komposisi solven berubah.



Gambar 2. Diagram pembentukan inti kristal (Wafiroh, 1995)

Kurva lewat jenuh digambarkan sebagai garis putus-putus, dan posisinya dalam diagram tergantung pada zat pengotor. Pada diagram di atas, kondisi kelarutan dibagi menjadi tiga bagian: daerah stabil, daerah metastabil, dan daerah labil. Daerah stabil adalah daerah larutan yang tidak mengalami kristalisasi, sedangkan daerah metastabil adalah daerah memungkinkan kristalisasi tidak spontan. Daerah labil adalah daerah yang memungkinkan terjadinya kristalisasi secara spontan.

Pada diagram temperatur-konsentrasi (Gambar 2), jika suatu larutan berada pada titik A dan didinginkan tanpa kehilangan volume pelarut (garis ABC), maka pembentukan inti tidak akan terjadi secara spontan sampai kondisi C tercapai. Untuk mencapai kondisi ini, larutan lewat jenuh juga dapat dicapai dengan mengurangi volume pelarut dari pelarutnya melalui proses penguapan. Garis ADE menunjukkan, bahwa jika larutan pada titik A diuapkan pada suhu konstan (Suharso dan Buhani, 2015).

2.4.3 Kelarutan Endapan

Endapan adalah zat yang memisahkan diri dari larutan sebagai suatu fase padat, berupa kristal atau koloid, dapat dikeluarkan dari larutan melalui penyaringan.

Endapan terbentuk ketika larutan dengan zat bersangkutan menjadi terlalu jenuh. Banyak faktor memengaruhi kelarutan: temperatur, tekanan, konsentrasi, serta komposisi pelarutnya. Sifat dan konsentrasi zat lain, terutama ion dalam campuran, juga memengaruhi kelarutan. Ion asing dan ion sejenis memiliki efek yang berbeda. Ion sejenis adalah ion yang termasuk dalam bahan endapan. Jika ion sejenis terdapat dalam jumlah berlebihan, biasanya dikatakan bahwa endapan berkurang banyak sekali. Namun, efek ini mungkin diimbangi dengan pembentukan penjebakan yang dapat larut dengan ion sejenis yang berlebihan tersebut. Dengan adanya ion asing, kelarutan endapan bertambah, tetapi biasanya hanya sedikit pertambahan, kecuali jika terjadi reaksi kimia (seperti pembentukan penjebakan atau reaksi asam-basa) antara endapan dan ion asing (Suharso dan Buhani, 2015). Beberapa reaksi yang menunjukkan terbentuknya endapan (deposit) antara lain:

1. $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{NaCl}$
2. $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{NaCl}$
3. $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \longrightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (Suharso dan Buhani, 2015).

2.5 Jenis Kerak

Kerak dapat berupa tumpukan keras organik atau anorganik, terbentuk karena adanya unsur pembentuk kerak: natrium, kalsium, klorida, ataupun sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan supersaturasi. Jika konsentrasi unsur tersebut melebihi kelarutannya dalam air, kerak akan menempel pada permukaan dan kemudian menetap di permukaan pipa (Kennedy *et al.*, 2012).

Tabel 1. Jenis Komponen Endapan Kerak

Nama Kimia	Rumus Kimia	Nama Mineral
Kerak larut dalam air:		
Natrium Klorida	NaCl	Halite
Kerak larut dalam asam		
Kalsium Karbonat	CaCO ₃	Kalsit
Besi Karbonat	FeCO ₃	Siderit
Besi Sulfida	FeS	Trolit
Oksida Besi	Fe ₂ O ₃	Bijih Besi
Magnesium Hidroksida	Mg(OH) ₂	Magnetit
Kerak yang tidak larut dalam asam		
Kalsium sulfat	CaSO ₄	Anhidrat
Kalsium sulfat	CaSO ₄ •2 H ₂ O	Gypsum

Kerak dapat diidentifikasi dengan mengklasifikasikannya berdasarkan komposisi pembentuk dan jenis pengendapannya. Berdasarkan komposisi, kerak dibedakan menjadi kerak karbonat dan kerak sulfat, serta campuran dari keduanya. Sedangkan berdasarkan jenis pengendapannya, klasifikasi kerak dapat dilihat pada Tabel 2. berikut (Alice *et al.*, 2011).

Tabel 2. Klafikasi Pengedapan Kerak

Jenis	Sifat Utama	Komponen	Reaksi Kimia
<i>Hard Scale</i>	Umumnya berwarna terang, dan apabila terdapat pengotor (minyak atau oksida besi) akan menjadi agak gelap. Hampir tidak larut dalam asam.	BaSO ₄ , SrSO ₄ , CaSO ₄ , dan CaSO ₄ •2H ₂ O	$\text{BaCl}_2 + \text{NaSO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{SrCl}_2 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{SrSO}_4 + \text{CaCl}_2$
<i>Soft Scale</i>	Umumnya terang atau agak gelap (jika mengandung pengotor) larutan dalam asam mengandung CO ₂ .	CaCO ₃ dengan kandungan MgCO ₃ , FeCO ₃ SiO ₂ , CaSO ₄ •2H ₂ O, FeS, dan S	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Lain-lain	Tidak mudah larut dalam asam mengandung H ₂ S, berwarna coklat tua sampai hitam.	FeS, Fe ₂ O ₃ , H ₂ O, dan S	$\text{Fe} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} + \text{H}^+$ $\text{HFe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{FeS}$

2.6 Kalsium Sulfat (CaSO₄)

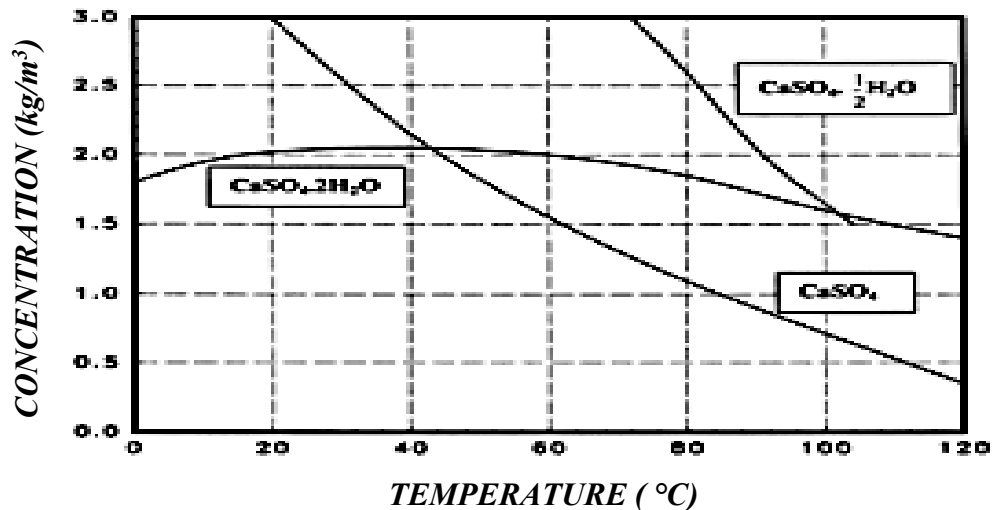
Kalsium adalah logam putih perak, agak lunak yang dibuat dengan elektrolisis garam kalsium klorida (CaCl₂). Memiliki massa jenis 2,96; titik didih 1450 °C; dan melebur pada 845 °C. Kalsium membentuk kation kalsium (II), Ca²⁺, dalam larutan air. Biasanya, garam-garamnya berupa bubuk putih dan larutan yang tak berwarna kecuali anionnya berwarna (Saito, 1996).

Kalsium sulfat (CaSO_4) adalah garam yang tumbuh dengan baik di alam dan juga muncul sebagai produk sampingan dari beberapa proses industri. Ini adalah senyawa yang terdiri dari kalsium, sulfur, dan oksigen. Rumus kimianya yang paling murni adalah CaSO_4 . Dalam bentuk "*hydrous*" dikenal sebagai mineral gipsum, memiliki rumus $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Bentuk-bentuk yang berbeda memiliki berbagai aplikasi, seperti sebagai bahan bangunan, bahan pelembab, membuat cetakan untuk perawatan kaki yang retak, dan membuat karya seni. (Sridianti, 2015). Beberapa sifat kalsium sulfat, antara lain mudah terbakar dan bersifat stabi, dapat diperoleh secara alami dalam bentuk barang berupa gipsum, serta merupakan endapan yang dapat diperoleh dari reaksi antara kalsium karbonat dan natrium sulfat.

Tabel 3. Bentuk-bentuk Kalsium Sulfat, Komposisi, dan Kestabilannya

Nama Umum	Rumus Molekul	Komposisi, % CaO SO ₃ H ₂ O	Kestabilan Termodinamika, °C
Anhidrat	CaSO_4	41,2 58,8 –	40-1180
Gipsum	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	32,6 46,5 20,9	< 40
Plester Paris	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	38,6 55,2 6,2	Metastabil

Salah satu kerak mineral yang tidak mudah larut dalam air adalah kalsium sulfat, yang menyebabkan terjadinya kesadahan air. CaSO_4 dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, gipsum); CaSO_4 hemihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, plester paris); dan CaSO_4 anhidrit adalah tiga bentuk utama kalsium sulfat. Kurva stabilitas CaSO_4 ditunjukkan di bawah pada Gambar 3. untuk ketiga bentuk. Pada kurva, gipsum paling tidak larut pada suhu di bawah 40 °C, sehingga paling banyak disimpan dalam bentuk kalsium sulfat, sedangkan hemihidrat dan anhidrit banyak ditemukan pada penukar panas di kolom distilasi.



Gambar 3. Kelarutan berbagai bentuk kalsium sulfat dalam air sebagai fungsinya

Dalam bentuk mineralnya, kalsium sulfat disebut gipsum dengan bentuk utamanya adalah senyawa dihidrat. Memiliki sifat-sifat fisika sebagai berikut:

Nama : Gipsum

Rumus molekul : $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Berat molekul : 172,17

Warna : putih

Bentuk kristal : monoklinik

Massa jenis : 2,32

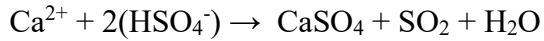
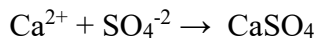
Titik lebur, °C : $-1\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, 128

Titik didih, °C : $-2\text{H}_2\text{O}$, 163

Kekerasan, Mohs : 2

CaSO_4 adalah salah satu jenis kerak non-alkali yang tersedia dalam tiga bentuk: CaSO_4 anhidrat stabil pada 98 °C, CaSO_4 hemihidrat stabil pada 98–170 °C, dan CaSO_4 dihidrat stabil pada 98–170 °C. Perbedaan suhu dan konsentrasi air laut menyebabkan jenis kerak ini terjadi. Pada air sirkulasi dengan kesadahan kalsium tinggi, kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dapat terendapkan sesuai dengan suhu air (Patel *and* Finan, 1999). Kerak kalsium sulfat merupakan endapan senyawa CaSO_4 yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dengan ion sulfat

(SO_4^{2-}) ataupun dengan ion Bisulfat (HSO_4^-), dengan reaksi pembentukan sebagai berikut:



Faktor yang mempengaruhi pembentukan kerak kalsium sulfat: perubahan kondisi reservoir, alkalinitas air, serta kandungan garam terlarut, di mana kecenderungan terbentuknya kerak kalsium sulfat akan meningkat dengan: meningkatnya temperatur, penurunan tekanan parsial CO_2 , peningkatan pH, laju alir, serta penurunan kandungan gas terlarut secara keseluruhan (Antony *et al.*, 2011).

2.7 Pengaruh Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4)

Kristalisasi menghasilkan kerak CaSO_4 . Jika padatan terlarut dalam keadaan berlebih (di luar kesetimbangan), sistem akan mencapai kesetimbangan dengan mengkristalkan padatan terlarut. Adapun pengaruh-pengaruh dalam pembentukan kristal kalsium sulfat adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh Konsentrasi Pembentukan Kerak

Konsentrasi larutan menjadi salah satu parameter yang menyatakan kuantitas zat terlarut suatu pelarut atau larutan. Semakin besar nilai konsentrasi, maka nilai laju reaksi akan semakin besar. Hal ini dikarenakan jumlah zat semakin besar dan peluang untuk melakukan tumbukan semakin besar sehingga laju reaksi semakin cepat. Kelarutan kristal akan semakin berkurang dengan bertambahnya partikel penyusun kerak, sehingga semakin besar konsentrasi Ca^{2+} dalam air maka tingkat kecenderungan terbentuknya kerak akan semakin besar. Pengaruh tersebut dapat terjadi karena kenaikan konsentrasi Ca^{2+} dalam air akan menyebabkan adanya jumlah tumbukan antara ion dalam larutan akan semakin banyak sehingga reaksi akan bergeser ke arah hasil reaksi dan jumlah yang terbentuk semakin banyak (Basim *et al.*, 2015).

2. Pengaruh pH Pembentukan Kerak

Adanya sejumlah SO_4 yang berada pada larutan akan mempengaruhi pH larutan dan daya larut kalsium sulfat. Apabila pH dalam larutan lebih rendah, maka semakin kecil kemungkinan kalsium sulfat akan terbentuk.

3. Pengaruh Temperatur Pembentukan Kerak

Jumlah kerak yang dihasilkan dipengaruhi oleh temperatur larutan. Ini menunjukkan bahwa kecepatan pertumbuhan inti kerak meningkat dengan kenaikan suhu. Peningkatan suhu menyebabkan kalsium sulfat yang terlarut berkurang sehingga tingkat pengendapan meningkat (Grases *et al.*, 2007).

4. Pengaruh Waktu Induksi Terhadap Pembentukan Kerak

Waktu yang dibutuhkan oleh ion dalam larutan untuk bereaksi dan membentuk inti kristal pertama disebut waktu induksi (isopekus *et al.*, 2009). Jika waktu induksi lebih pendek, inti kristal terbentuk lebih cepat. Inti kristal berfungsi sebagai pusat pertumbuhan kerak, jumlah inti yang terbentuk terkait dengan jumlah kerak yang terbentuk, maka dengan waktu induksi yang lebih singkat, jumlah kerak terbentuk akan semakin banyak (Ma'mun dkk., 2013).

2.8 Metode Pencegahan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4)

Proses produksi dapat terhambat oleh adanya kerak-kerak yang terbentuk pada pipa peralatan industri. Penggantian pipa-pipa tersebut membutuhkan banyak waktu, biaya, dan tidak efisien. Dengan demikian, pembentukan kerak pada peralatan industri menjadi sesuatu yang serius untuk diantisipasi dan menjadi subjek penelitian khusus selain penanggulangan korosi (Suharso dan Buhani, 2015). Penghambat kerak memiliki kemampuan untuk melarutkan garam anorganik yang tidak larut dan memastikan efek perpindahan panas yang konsisten. Pengolahan air dan pencegahan pembentukan kerak biasanya dilakukan secara kimiawi. Metode kimiawi ini berpotensi mengubah sifat kimia larutan, yang membuatnya tidak aman untuk digunakan di rumah tangga dan industri

makanan. Selain itu, investasi yang besar, membuat proses ini hanya dapat digunakan di industri yang membutuhkan air olahan dalam jumlah besar (Kozic *et al.*, 2003). Beberapa metode yang digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak CaSO_4 pada peralatan-peralatan industri adalah sebagai berikut.

1. Pengendalian pH

Upaya mencegah pengendapan garam-garam kalsium digunakan pengendalian pH dengan penginjeksian asam. Kelarutan bahan pembentuk kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Ketika pH kurang dari 6,5, baja karbon, tembaga, dan paduan tembaga dengan cepat mengalami korosi, pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak adalah 7,0-7,5. Sehingga, untuk suatu sistem otomatis penginjeksian asam, pH harus dikendalikan dengan benar. Penggunaan asam sulfat dan asam klorida dapat menjadi pemicu akibat mempunyai tingkat bahaya dalam penanganannya (Lestari dkk., 2004).

2. Pembebasan Mineral Air

Pencegahan kerak terbentuk pada air yang mengandung kesadahan tinggi (± 250 ppm CaSO_4). Jika air bebas mineral digunakan, masalah kerak tidak akan muncul karena seluruh garam-garam terlarut dapat dihilangkan. Oleh karena itu, penggunaan air bebas mineral adalah cara yang tepat untuk menghambat kerak dalam sistem dengan pembebanan panas tinggi (Lestari dkk., 2004). Namun, industri besar membutuhkan air bebas mineral dengan biaya yang cukup tinggi, sehingga dapat mengurangi efisiensi operasi.

3. Penggunaan Zat Aditif

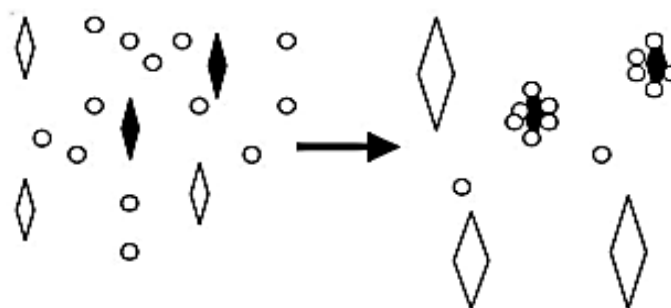
Penggunaan aditif berfungsi menghambat pertumbuhan kristal dengan meningkatkan nukleasi heterogen, mengontrol dan menstabilkan endapan kerak, serta memperlambat laju pertumbuhan kristal. Salah satu cara dengan menjaga anion-kation pembentuk kerak tetap berada dalam larutannya. Beberapa jenis senyawa kimia, termasuk organik dan anorganik, dapat menghambat pembentukan kerak. Salah satu golongan aditif tersebut adalah golongan karboksilat (Suharso dan Buhani, 2015).

4. Penggunaan Inhibitor Kerak

Bahan kimia dapat dengan mudah mencegah menempelnya suatu partikel-partikel pada permukaan padatan yang disebut inhibitor kerak (Suharso *et al.*, 2007). Untuk mencapai hasil optimal, inhibitor kerak biasanya diperlukan dalam tingkat ppm berupa bentuk cairan yang diperoleh. Tingkat dosis yang lebih tinggi hanya akan menyebabkan pemborosan inhibitor dan tidak akan lebih efektif. Oleh karena itu, inhibitor kerak harus kompatibel dengan kondisi meskipun aktif secara kimiawi. Stabilitas inhibitor sangat dipengaruhi oleh suhu, tekanan, dan air garam komposisi *reservoir* (Meyers and Skillman, 1985).

Pembentukan senyawa kompleks antara inhibitor kerak dan komponen pembentuk kerak adalah prinsip kerja dari inhibitor. Senyawa kompleks yang terbentuk larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar.

Keefektifan, kestabilan, kecocokan, dan biaya adalah faktor yang harus dipertimbangkan. Sifat inhibitor kerak yang sangat diharapkan stabil dalam air pada suhu tinggi (Syahri dan Sugiarto, 2008). Mekanisme kerja inhibitor kerak adalah sebagai berikut: pada saat mulai terbentuk, inhibitor kerak teradsorpsi pada permukaan kristal kerak; kemudian, sebagai kristal besar, inhibitor menutupi kristal yang kecil dan mencegah mereka berkembang lebih jauh (Karliana, 2009)



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

Pada Gambar 4. proses menghambat laju pertumbuhan kristal, dapat digambarkan mekanisme inhibitor, yaitu bentuk kerja inhibitor dalam mengadsorpsi sisi pertumbuhan bibit kristal, yang mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam). Sebaliknya, bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal tanpa warna) yang terus berkembang seperti biasa (Suharso *et al.*, 2014).

2.9 Kandungan Buah Mengkudu

Mengkudu (*Morinda citrifolia*) termasuk tumbuhan keluarga kopi-kopian, yang mulanya berasal dari daratan Asia Tenggara kemudian menyebar sampai ke Cina, India, Filipina, Afrika, Australia, dan Kuba. Di Indonesia, tanaman mengkudu mudah diperoleh, dibudidayakan, mempunyai umur cukup lama, serta relatif murah.



Gambar 5. Buah Mengkudu (Redriguez, 2008)

Klasifikasi tanaman mengkudu adalah sebagai berikut (Conqu Coast, 1981).

Kingdom	: Plantae
Devisi	: Magnoliophyta
Subdevisi	: Angiospermae
Kelas	: Magnoliopsida
Subkelas	: Asteroideae
Ordo	: Rubiales

Family : Rubiaceae
 Genus : Morinda
 Spesies : *Morinda citrifolia*, L.

Tanaman mengkudu adalah tanaman tahunan yang terdiri dari akar, batang, daun, buah, dan biji. Akar (*radix*) tanaman mengkudu memiliki struktur tunggang yang tumbuh ke segala arah dan cukup dalam. Batang (*caulis*) dan cabang (*ramus*) berbentuk bulat panjang, berwarna coklat tua, dan berkulit kasar. Daunnya berwarna hijau tua, tidak berbulu, dan berbentuk oval. Bunganya (*flos*) berukuran kecil tumbuh di antara dua daun. Buah (*fructus*) berbentuk bulat atau bulat panjang dengan mata seperti buah nanas. Pada saat buah masih muda, buah berwarna hijau; semakin tua menjadi kuning atau putih, dan setelah matang menjadi lembek, berbau, dan kecoklatan (Suprapti, 2005). Mengkudu mengandung beberapa senyawa diantaranya adalah asam askorbat, flavanoid, alkaloid (xeronine, prexeronine), dan senyawa *phenolic* (kumarin, iridoid) yang merupakan senyawa antioksidan alami melindungi jaringan dari serangan oksigen dan radikal bebas. Mengkudu juga mengandung zat antikanker (damnacanthal), dan zat antibakteri (acubin, L.asperuloside, alizarin, zat antraquinon) (Kusumastuti, 2012).

Buah mengkudu berdasarkan penelitian Thoo *et al.*, (2010) menunjukkan ekstraksi buah mengkudu dengan 40% etanol menghasilkan kandungan senyawa *phenolic* sebesar 472,73 mg per 100 gram dan kandungan senyawa antioksidan sebesar 791,71 μmol per 100 gram. Berdasarkan penelitian Hatam dkk., (2013), Senyawa fenolik merupakan kelompok senyawa antioksidan pada tumbuhan. Senyawa fenolik yang merupakan senyawa yang memiliki satu (fenol) atau lebih (polifenol) cincin fenol, yaitu gugus hidroksi yang terikat cincin aromatik sehingga mudah teroksidasi dengan menyumbangkan atom hidrogen pada radikal bebas. Senyawa fenolik alami umumnya berupa polifenol yang membentuk senyawa eter, ester, atau glikosida, antara lain flavonoid, tanin, tokoferol, kumarin, lignin, turunan asam sinamat, dan asam organik polifungsional. Selain

itu, senyawa fenolik seperti tanin memiliki gugus -OH yang dapat mengikat logam berat seperti Ca^{2+} , sehingga dapat larut dalam air atau alkohol (Dhurhanian dan Agil, 2018). Tingkat efisiensi dan keamanannya yang tinggi, maka polimer alami seperti pati, alginat, lignin, tanin, dan turunan selulosa dianggap sebagai "dispersi hijau" dalam sistem air industri. Oleh karena itu, untuk memenuhi persyaratan yang diperlukan untuk inhibitor kimia, penggunaan senyawa alami adalah pilihan yang tepat (Chauhan *et al.*, 2015). Berdasarkan pemaparan tersebut diharapkan dengan adanya kandungan senyawa pada ekstrak buah mengkudu dapat membantu menghambat laju pertumbuhan kerak kalsium sulfat (CaSO_4).

2.10 Asap Cair (*Liquid Smoke*)

Asap cair adalah hasil kondensasi atau pengembunan uap dari pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa, dan senyawa karbon lainnya. Bahan baku umum untuk asap cair ini termasuk kayu, tandan kosong kelapa sawit, cangkang kelapa sawit, tempurung kelapa, pelepah kelapa, dan ampas hasil penggergajian (Girard, 1992). Asap cair adalah asap yang awalnya terdiri dari partikel padat dan kemudian menjadi cair. Asap cair juga dapat merujuk pada hasil pendinginan dan pencairan asap yang keluar dari tempurung kelapa yang dibakar dalam tabung tertutup (Mentari, 2017). Pembuatan asap cair salah satunya menggunakan cangkang kelapa yang merupakan sisa limbah pembuatan minyak kelapa. Proses yang digunakan untuk menghasilkan asap cair adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen sehingga terjadi penguraian komponen senyawa kimia. Limbah cangkang kelapa sawit sebelum dilakukan proses pirolisis, ditimbang terlebih dahulu lalu dijemur kurang lebih dua hari dengan terik matahari. Setelah kering ditimbang lagi untuk melihat susut bobotnya. Selanjutnya dilakukan tahap pirolisis (Harmiansyah dkk., 2023).

Proses pirolisis pada cangkang kelapa sawit seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin menghasilkan zat atau senyawa dalam tiga bentuk: padatan berupa karbon,

cairan (asap cair dan tar), dan gas yang tidak terkondensasi. Lignin merupakan konstituen terbesar dalam cangkang kelapa sawit yang persentasenya mencapai 51,5%, diikuti oleh hemiselulosa 22,3%, dan selulosa 20,5% (Shibata *et al.*, 2008), sehingga fenol merupakan produk pirolisis utama yang kandungannya paling besar dalam asap cair. Hemiselulosa banyak ditemukan pada kayu lunak. Ini memiliki berat molekul kecil dan rantai pendek dibandingkan dengan selulosa. Hemiselulosa disusun oleh pentosan ($C_5H_8O_4$) dan heksosan ($C_6H_{10}O_5$). Pentosan banyak ditemukan pada kayu keras, sedangkan heksosan ditemukan pada kayu lunak. Pentosan yang mengalami pirolisis menghasilkan furfural, furan, dan turunannya serta asam karboksilat. Pirolisis heksosan terdiri dari mannan dan galakton dengan unit dasar mannanosa dan galaktosa, menghasilkan asam asetat dan homolognya (Himawati, 2010), serta karbonil seperti asetaldehida, glioksal dan akrolein, sementara hasil pirolisis lignin adalah fenol, guaiakol, siringol, dan homolognya (Achmadi dkk., 2015).

Asap cair memiliki banyak manfaat salah satunya sebagai inhibitor (Choi *et al.*, 2001). Pada penelitiannya, Ratnawati dan Hartanto, (2010) memperoleh asap cair dari 5 kg cangkang sawit dengan pirolisis pada suhu 200 °C selama 4 jam sebanyak 460 ml dan arang sebanyak 3,24 kg. Asap cair yang dihasilkan mengandung senyawa *guaiacol*, *2,3-butanedione*, furfural, dan *2-methyl-2-cyclopentenone* sebesar 30,73%. Fauziati dan Sampepana, (2016) dalam penelitiannya melakukan pirolisis asap cair cangkang sawit suhu 250-400 °C menghasilkan komponen tergolong senyawa asam seperti *acetic acid*; *acetic acid ethenyl ester*, *propanoic acid*, *2-oxo*, *folic acid*, *phenol*, *2-Metoxy*, dan senyawa *acetone*. Adanya kandungan asam asetat memungkinkan asap cair cangkang dikembangkan sebagai inhibitor kerak kalsium sulfat.



Gambar 6. Cangkang Kelapa Sawit dan Asap Cair

2.10.1 Sifat Fisik dan Kimia Asap Cair

Sifat fisik dan komposisi kimia asap cair bergantung pada bahan baku yang digunakan. Komponen utama, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, memengaruhi sifat asap cair kelapa sawit (Komarayati *et al.*, 2018). Asap cair cangkang kelapa sawit hasil pirolisis berwarna coklat dan memiliki aroma asap yang menyengat. Ini mengandung asap cair, tar, kotoran, dan minyak.

Sifat fisik asap cair cangkang kelapa sawit, meliputi kadar air, nilai kalori, berat cangkang dan karbon aktif, serta pH. Kadar air awal bahan baku yang digunakan memengaruhi kadar air asap cair; semakin kering bahan baku, dihasilkan asap cair dengan kadar air yang rendah (Pujilestari, 2010). Menurut penelitian Yatagai (2004), asap cair cangkang kelapa sawit biasanya memiliki kadar air 80-90%, kandungan bahan organik 10-20%, dan derajat keasaman tinggi 1,5-3,7. Asap cair dimurnikan melalui proses penyaringan. Sebelum proses pemurnian, asap cair berwarna kehitaman, dan setelahnya menjadi kekuningan. Adanya penyaringan memungkinkan partikel-partikel padat tidak larut air untuk tertahan di kertas saring. Ini mengurangi kadar pengotor dan membuat warna menjadi bersih dan tidak terlihat kotoran melayang. Nilai pH asap cair berhubungan dengan total asam. Semakin tinggi kadar asamnya, maka nilai pH asap cair akan semakin rendah. Rendahnya nilai pH menunjukkan bahwa asap cair yang dihasilkan berkualitas tinggi. Tiga senyawa penting pada asap cair yaitu fenol, karbonil, dan

asam, mempunyai titik didih yang berbeda. Pada umumnya fenol mempunyai titik didih lebih dari 200 °C, sedangkan asam mempunyai titik didih lebih dari 100 °C. Karbonil mempunyai titik didih di bawah 100 °C (Halim *et al.*, 2005).

Air adalah bagian terbesar dari asap cair. Selain itu, asap cair mengandung bahan lain penyusun asap, seperti fenol, karbonil, asam, furan, dan hidrokarbon polosisiklik aromatik (Halim *et al.*, 2005). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Trenggono *et al.*, (1996) asap cair cangkang kelapa mempunyai 7 macam komponen yang dominan, yaitu fenol, 3-metil-1,2-siklopentadion, 2 metoksifenol, 2- metoksi-4-metilfenol, 4-etil-2 metoksifenol, 2,6-dimetoksifenol, dan 2,5-dimetoksi benzil alkohol yang semuanya larut dalam eter. Penelitian Sarwendah dkk., (2019) menghasilkan proses pirolisis cangkang sawit dengan kandungan senyawa fenol, karbonil, dan asam organik (asam asetat).

2.11 Seeded Experiment

Salah satu cara pembentukan kristal adalah dengan memasukkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Metode ini dikenal sebagai *seeded experiment*. Penambahan bibit kristal dilakukan untuk mempercepat proses kristalisasi karena adanya area permukaan bibit kristal akan mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Semakin cepat proses kristalisasi berjalan, semakin cepat inti kristal kalsium sulfat berkembang untuk membentuk kristal yang lebih besar. Ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak kalsium sulfat setelah ditambahkan inhibitor dengan penambahan bibit kristal (Setiososari, 2018).

2.12 Analisis Kerak Kalsium Sulfat (CaSO₄)

Pada penelitian ini dilakukan analisis dan karakterisasi terhadap pertumbuhan kristal CaSO₄ untuk mengetahui gugus fungsional dan komponen senyawa kimia terkandung dalam ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan analisis

menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terkandung di dalam campuran sampel inhibitor. Analisis untuk mengetahui adanya perubahan morfologi permukaan kristal CaSO_4 yaitu menggunakan analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Analisis untuk mengetahui distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dan analisis untuk mengetahui bentuk kristal CaSO_4 menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Analisis dan karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui dan membuktikan inhibitor ekstrak buah mengkudu dan asap cair tersebut dapat menghambat pembentukan kerak CaSO_4 .

2.12.1 Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi adalah FTIR, yaitu inframerah, didasarkan pada fenomena terserapnya radiasi elektromagnetik inframerah oleh vibrasi molekul. Pola spektrum serapan inframerah suatu material berguna untuk mengidentifikasi material serta keberadaan gugus fungsi (Setiabudi dkk., 2012). Pengukuran spektrum inframerah dilakukan pada daerah sinar inframerah tengah, yang memiliki panjang gelombang 2,5-50 μm atau bilangan gelombang 4000-200 cm^{-1} . Energi inframerah dapat menyebabkan vibrasi atau getaran pada molekul. Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi-rotasi (Khopkar, 2001). Spektrum IR suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi vibrasi dan osilasi. Bila molekul menyerap radiasi IR, energi yang diserap akan menyebabkan kenaikan amplitude getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul-molekul berada pada keadaan vibrasi tereksitasi: energi yang diserap akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar (Supratman, 2010).

Jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik, maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Persentase transmisi akan digunakan untuk menggambarkan jumlah frekuensi

yang melewati senyawa. Satuan frekuensi yang digunakan, dinyatakan dalam bilangan gelombang, yang didefinisikan sebagai banyaknya gelombang dalam tiap satuan panjang (Dachriyanus, 2004). Dengan demikian spektrofotometer IR dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul. Dengan menggunakan analisis FT-IR terhadap asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu, pita serapan pada spektrum diharapkan dapat menunjukkan adanya gugus karboksil, yaitu karbonil C=O dari asam karboksilat, keton, aldehida, dan ester pada bilangan gelombang 1690-1760 cm^{-1} , gugus hidroksil O-H pada bilangan gelombang sekitar 3750-3000, serta gugus metil CH_3 pada panjang gelombang 2500-3300 cm^{-1} sebagai asam asetat (CH_3COOH). Selain itu, dapat menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang sekitar 3300 cm^{-1} , gugus C=C pada bilangan gelombang 1600-1500 cm^{-1} , gugus C-H alkana pada bilangan gelombang 2850-2970 cm^{-1} atau 1340-1470 cm^{-1} dan aromatik pada bilangan gelombang 690-900 cm^{-1} atau 3010-3100 cm^{-1} sebagai senyawa fenol (Fessenden dan Fessenden, 1986).

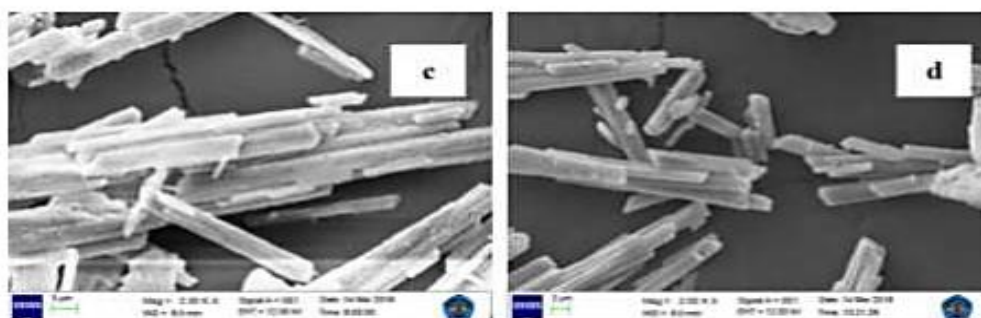
2.12.2 *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

GCMS adalah metode analisis yang menggabungkan metode kromatografi gas (GC) dengan spektrometri massa (MS). Terdiri dari empat komponen utama: injektor, kolom kromatografi, detektor, dan rekorder (Stashenko *and* Martínez, 2014). GCMS digunakan untuk mendeteksi senyawa berdasarkan waktu retensi relatif kromatografi gas dan pola elusi komponen dari campuran senyawa yang dikombinasikan dengan pola fragmentasi spektrum massa sehingga menunjukkan karakteristik dari struktur senyawa kimia. Ketika suatu senyawa organik terelusi dari kolom GC, senyawa tersebut kemudian memasuki spektrometer massa dan dibombardir oleh aliran elektron yang memfragmentasi senyawa tersebut menjadi ion. Rasio massa terhadap muatan (M/Z) adalah ukuran massa fragmen dibandingkan dengan muatannya, rasio mewakili berat molekul dari fragmen senyawa tersebut. Secara umum, spektroskopi massa dilengkapi dengan kuadropol penganalisis massa jenis suatu senyawa (Mani *et al.*, 2017).

Spektrofotometer massa merupakan *detector universal* sehingga GC-MS dapat digunakan untuk menganalisis berbagai jenis senyawa dan menjadikan perangkat analisis ini menjadi salah satu instrument dengan penggunaan luas (Torres, 2005).

2.12.3 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Salah satu jenis mikroskop elektron menggambarkan spesimen dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola *raster*. Elektron memiliki resolusi hanya 0,1–0,2 nm; cahaya hanya mampu mencapai 200 nm. Sinyal yang dihasilkan spesimen akibat interaksi elektron dengan atom-atom mengandung informasi topografi permukaan, komposisi, dan atribut lainnya, seperti konduktivitas listrik. Prinsip kerja SEM: pistol elektron mengeluarkan sinar elektron dan dipercepat oleh anoda; kemudian, lensa magnetik memfokuskan sinar elektron ke sampel, dan koil pemindai mengarahkan sinar elektron tersebut untuk memindai sampel secara keseluruhan. Sampel mengeluarkan elektron baru, yang diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT) (Wijayanto dan Bayuseno, 2014). Dengan SEM, pengamatan morfologi permukaan kristal dapat dilakukan. Salah satu keunggulan SEM memungkinkan untuk mengkarakterisasi material atau sampel tanpa persiapan khusus; sampel yang tebal juga dapat dianalisis (Handayani dan Sitompul, 1996). SEM dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi elemen.



Gambar 7. Morfologi Kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,050 M (Pertiwi, 2018)

Pada Gambar 7 (a), menunjukkan perubahan morfologi permukaan kerak CaSO_4 tanpa inhibitor. Permukaannya menjadi lebih padat, jelas, dan bentuk kristalnya menjadi lebih teratur, bertumpuk, dan besar. Berbeda dengan hasil analisis SEM Gambar 7 (b), dengan penambahan inhibitor 350 ppm pada perbesaran 2000x, terlihat ukuran kristal yang lebih kecil, dan bentuk kristal yang tidak beraturan serta strukturnya terlihat lebih halus.

2.12.4 *Particle Size Analyzer (PSA)*

Particle size analyzer dapat menganalisis partikel dalam sampel yang bertujuan untuk menentukan ukuran dan distribusi partikel. Gambar yang dihasilkan dapat digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel. Partikel berbentuk bola dinyatakan dengan jari-jari untuk menunjukkan ukuran tersebut. PSA dapat mengukur distribusi partikel dalam emulsi, suspensi, dan bubuk kering. Ini dapat dilakukan dengan tiga metode yang berbeda, yaitu (1) difraksi sinar laser untuk partikel dengan ukuran submikron hingga milimeter, (2) prinsip *counter* untuk mengukur dan menghitung partikel dengan ukuran mikron hingga milimeter, dan (3) penghamburan sinar untuk mengukur partikel dengan ukuran mikron hingga nanometer (Totoki, 2007).

Dasar metode analisis PSA, yaitu pengukuran partikel dengan mengukur kecepatan serta penentuan fraksinasi massa dengan kerelatifan absorpsi sinar-X pada tenaga yang rendah. Sebagai sirkulasi cairan yang berkelanjutan, sampel berupa padatan dimasukkan ke wadah cairan dan dicampur sampai penyebaran aliran suspensi sampel berupa padatan homogen dan penyebaran cairan dipompa melalui sel (Nengsih *et al.*, 2013). Analisis menggunakan PSA dalam penelitian ini untuk mengetahui untuk mengetahui distribusi ukuran partikel berukuran nanometer dari kerak kalsium sulfat.

2.12.5 *X-Ray Diffraction (XRD)*

Metode difraksi sinar-X menggunakan difraksi radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,5–2,5 Å yang dihasilkan dengan menembakkan suatu berkas elektron berenergi tinggi ke suatu target. Radiasi sinar-X menunjukkan gejala difraksi jika jarak antar bidangnya kira-kira sama dengan panjang gelombang sinar-X (Cullity, 1967). Metode ini digunakan untuk menentukan jenis struktur, ukuran butir, konstanta kisi dan FWHM. Metode difraksi sinar-X (XRD) didasarkan pada interferensi konstruktif sinar-X monokromatik dalam sampel kristal. Zat kristal yang mengandung jaringan atom dapat mendifraksi sinar-X yang datang dan menghasilkan pola interferensi. Pola yang dihasilkan dapat dianalisis untuk memperoleh informasi tentang struktur atom atau molekul bahan itu dan identitas fasenya. XRD adalah teknik yang cepat dan kuat untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi bahan (Alderton and Royal, 2020).

Analisis difraksi sinar-X didasarkan pada susunan sistematis atom-atom atau ion-ion di dalam bidang kristal yang dapat tersusun sedemikian rupa sehingga membentuk kisi kristal dengan jarak antar bidang (d) yang khas. Setiap spesies mineral mempunyai susunan atom yang berbeda-beda sehingga membentuk bidang kristal yang dapat memantulkan sinar-X dalam pola difraksi yang karakteristik. Pola difraksi inilah yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa (Rini, 2016).

III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 sampai Februari 2025 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung, analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di Laboratorium Fisika Terpadu Institut Teknologi Bandung, analisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GCMS) dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Universitas Islam Indonesia, analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Layanan Analisa dan Pengukuran Departemen Kimia FMIPA Universitas Brawijaya, dan analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dilakukan di Universitas Negeri Padang.

3.2 Alat dan Bahan

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas, *water bath* (*Thermoscientific* AC 200/S21), gelas-gelas plastik, pengaduk magnet, spinbar, oven (merek Innotech), neraca analitik (*Airswoth* AA-160), pH meter (Methrom

827), termometer, spektrofotometer IR merek Cary 630 Agilent, *Gas Chromatography–Mass Spectrofotometry* (GCMS) merek Shimadzu QP 2010 SE, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merek Jeol JSM 6510 LA, *Particle Size Analyzer* (PSA) merek Cilas 1090D, dan *X-Ray Diffraction* (X-RD) merek PANalitycal MPD PW3040/60.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CaCl_2 anhidrat, Na_2SO_4 , akuades, buah mengkudu, asap cair cangkang kelapa sawit, dan kertas saring.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan Ekstrak Buah Mengkudu

Buah mengkudu disortir dan dipilih yang bebas dari jamur maupun karakteristik kurang baik, kemudian simplisa dicuci bersih. Buah mengkudu yang telah bersih dikeringkan dan dirajang membentuk potongan kecil kemudian dikeringkan selama 1 hari dengan bantuan sinar matahari. Setelah itu, buah mengkudu dioven selama 4 jam dengan suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ kemudian dilakukan penimbangan secara berkala hingga konstan untuk menentukan bahwa buah mengkudu telah benar-benar kering. Buah mengkudu yang sudah kering tersebut digiling untuk menghasilkan serbuk buah mengkudu. Selanjutnya, pembuatan larutan induk ekstrak buah mengkudu dengan cara ditimbang 100 gram buah mengkudu dan ditambahkan dengan akuades sebanyak 1000 mL dalam gelas kimia, kemudian diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet selama 2-3 jam dengan suhu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ kemudian didiamkan selama semalam dan larutan disaring menggunakan kertas saring. Pembuatan ekstrak buah mengkudu dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan.

Filtrat hasil maserasi diuapkan menggunakan oven sampai terbentuk larutan yang pekat. Setelah itu, diambil 1 gram/L larutan pekat untuk membuat larutan induk inhibitor dengan konsentrasi 1000 ppm, kemudian larutan induk tersebut

diencerkan untuk membuat larutan inhibitor dengan konsentrasi 50, 150, 250, dan 350 ppm. Pembuatan larutan inhibitor ekstrak buah mengkudu 50 ppm dilakukan dengan cara mengencerkan 50 mL larutan induk inhibitor dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, lalu dihomogenkan, dan nilai keasamannya diukur menggunakan pH meter. Perlakuan yang sama untuk membuat inhibitor dengan konsentrasi 150, 250, dan 350 ppm. Kemudian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam ekstrak buah mengkudu dilakukan analisis menggunakan FTIR dan untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terdapat di dalam ekstrak buah mengkudu dilakukan pula analisis menggunakan GC-MS.

3.3.2 Pembuatan Bibit Kristal

Bibit kristal dibuat dengan mencampurkan CaCl_2 anhidrat 1 M sebanyak 55,5 gram dan larutan Na_2SO_4 1 M sebanyak 71 gram yang masing-masing dilarutkan dalam 500 mL akuades. Masing-masing larutan kemudian dihomogenkan dengan dimasukkan ke dalam gelas kimia 1000 mL dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan suhu 90 °C. Selanjutnya, larutan CaCl_2 anhidrat 1 M dan larutan Na_2SO_4 1 M yang telah homogen dicampur dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan suhu 90 °C hingga mengendap sempurna. Endapan dipisahkan menggunakan kertas saring. Endapan yang didapat dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa cairan induk dan kotoran, lalu dikeringkan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu 105 °C (Suharso *et al.*, 2009).

3.3.3 Pembuatan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit yang digunakan telah dianalisis kadar air dan nilai kalori di Laboratorium Analisis dan Instrumentasi Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada 11 Juni 2024 menggunakan instrumen

Moisture Content Analyzer KERN DBS-63 sebelum dilakukan proses pirolisis dan didapatkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Kadar Air dan Nilai Kalori

No	Sampel/Kode	Moisture Content (wt%)	Nilai Kalori	
			Satuan (cal/g)	Satuan (MJ/kg)
1.	Cangkang Kelapa Sawit	14,66	4.940,14	20,67

Pada penelitian ini asap cair cangkang kelapa sawit diperoleh di Jurusan Kimia Universitas Lampung melalui pirolisis, yaitu penguraian cangkang kelapa sawit dengan bantuan panas tinggi tanpa adanya oksigen atau dengan menggunakan oksigen dengan jumlah terbatas. Asap yang dihasilkan dari pembakaran akan mengalir ke tabung pendingin dan terjadi proses kondensasi sehingga menghasilkan asap cair. Asap cair ditampung dan didiamkan selama 24 jam, kemudian disaring menggunakan kertas saring dan corong pisah untuk memisahkan asap cair dan tar. Penyaringan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan (Wardoyo, 2020). Tar merupakan cairan yang dihasilkan dari pirolisis limbah cangkang kelapa sawit yang berwarna hitam kental serta bersifat toksik dan karsinogenik yang dapat menyebabkan kerusakan asam amino esensial dari protein dan vitamin (Sarwendah dkk., 2019). Pengukuran terhadap bobot cangkang kelapa sawit sebelum pirolisis dan karbon aktif sebagai hasil pirolisis ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Pirolisis

No	Proses Pirolisis	Hasil		
		Cangkang (kg)	Asap Cair (mL)	Karbon Aktif (kg)
1.	1 Juni 2024	5	1800	1,8
2.	8 Juni 2024	5	1200	2
3.	25 Juni 2024	5	1600	2

Pembuatan inhibitor dari asap cair cangkang kelapa sawit dilakukan dengan cara mengencerkan 1 mL asap cair cangkang kelapa sawit dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, lalu dihomogenkan sehingga menghasilkan larutan induk inhibitor asap cair 1000 ppm. Selanjutnya, pembuatan inhibitor dari asap cair cangkang kelapa sawit dengan konsentration 250 ppm dilakukan dengan cara mengencerkan 250 mL larutan induk inhibitor asap cair cangkang kelapa sawit dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, lalu dihomogenkan, dan diukur derajat keasaman menggunakan pH meter. Kemudian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam asap cair cangkang kelapa sawit dilakukan analisis menggunakan FTIR dan untuk mengetahui adanya komponen senyawa dan sifat kimia yang terdapat di dalam asap cair cangkang kelapa sawit dilakukan pula analisis menggunakan GC-MS.

3.3.4 Pembuatan Inhibitor dari Campuran Ekstrak Kulit Buah Mengkudu dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit

Pada penelitian ini digunakan campuran ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai larutan inhibitor. Larutan inhibitor dibuat dengan cara mencampurkan 200 mL ekstrak buah mengkudu pada berbagai variasi konsentrasi dan 200 mL asap cair cangkang kelapa sawit 250 ppm yang dapat dilihat pada Tabel 6. Kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 10 menit dan larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring agar kotoran yang terdapat pada campuran hilang dan disimpan dalam botol. Perpaduan campuran ini dibuat dengan perbandingan konsentrasi ekstrak buah mengkudu yang bervariasi sedangkan untuk konsentrasi asap cair dibuat tetap. Setiap perbandingan campuran ini diuji efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan kristal CaSO_4 dan kemudian diukur nilai pH-nya.

Tabel 6. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak buah mengkudu (M) dan asap cair cangkang kelapa sawit (A)

Perbandingan Inhibitor M : A	Konsentrasi Ekstrak Buah Mengkudu (ppm)	Konsentrasi Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit (ppm)
1 : 5	50	250
3 : 5	150	250
5 : 5	250	250
7 : 5	350	250

3.3.5 Pengujian Campuran Ekstrak Kulit Buah Mengkudu dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaSO_4

Tahapan untuk pengujian campuran ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal CaSO_4 dengan metode *seeded experiment* dilakukan dengan rangkaian sebagai berikut:

3.3.5.1 Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO_4 Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,05 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,05 M Na_2SO_4 masing-masing dalam 200 mL akuades. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl_2 anhidrat 0,05 M dan larutan Na_2SO_4 0,05 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak CaSO_4 dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan CaSO_4 yang terbentuk dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL larutan pertumbuhan dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal.

Setelah itu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan lalu satu gelas diambil. Selanjutnya, disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 sebesar 0,0750; 0,1000; dan 0,1250 M untuk menghasilkan kerak tanpa penambahan inhibitor sebesar 0,0375; 0,0500; dan 0,0625 M.

3.3.5.2 Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO_4 dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,05 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,05 M Na_2SO_4 masing-masing dalam 200 mL inhibitor campuran ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit dengan perbandingan konsentrasi 5 : 1. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl_2 anhidrat 0,05 M dan larutan Na_2SO_4 0,05 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak CaSO_4 dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan CaSO_4 yang terbentuk dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL larutan pertumbuhan dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Setelah itu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan lalu satu gelas diambil. Selanjutnya, disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 sebesar 0,0750; 0,1000; dan 0,1250 M serta pada variasi konsentrasi campuran inhibitor dengan perbandingan 1:5;

3:5; 5:5; dan 7:5 untuk menghasilkan pertumbuhan kerak CaSO_4 dengan penambahan inhibitor sebesar 0,0375; 0,0500; dan 0,0625 M. Endapan yang diperoleh ditimbang, selanjutnya analisis morfologi menggunakan SEM, analisis struktur menggunakan XRD, dan distribusi ukuran partikel menggunakan PSA dilakukan.

3.6 Analisis Data

Data yang diperoleh berupa perubahan konsententrasi terhadap waktu baik tanpa menggunakan inhibitor maupun menggunakan inhibitor dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing akan diplot sebagai perubahan konsententrasi terhadap waktu menggunakan *Microsoft Excel*. Data yang diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui efektivitas inhibitor campuran ekstrak buah mengkudu dalam menghambat laju pertumbuhan kerak CaSO_4 dengan menggunakan Persamaan 1. (Suharso *et al.*, 2019).

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

Dimana :

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

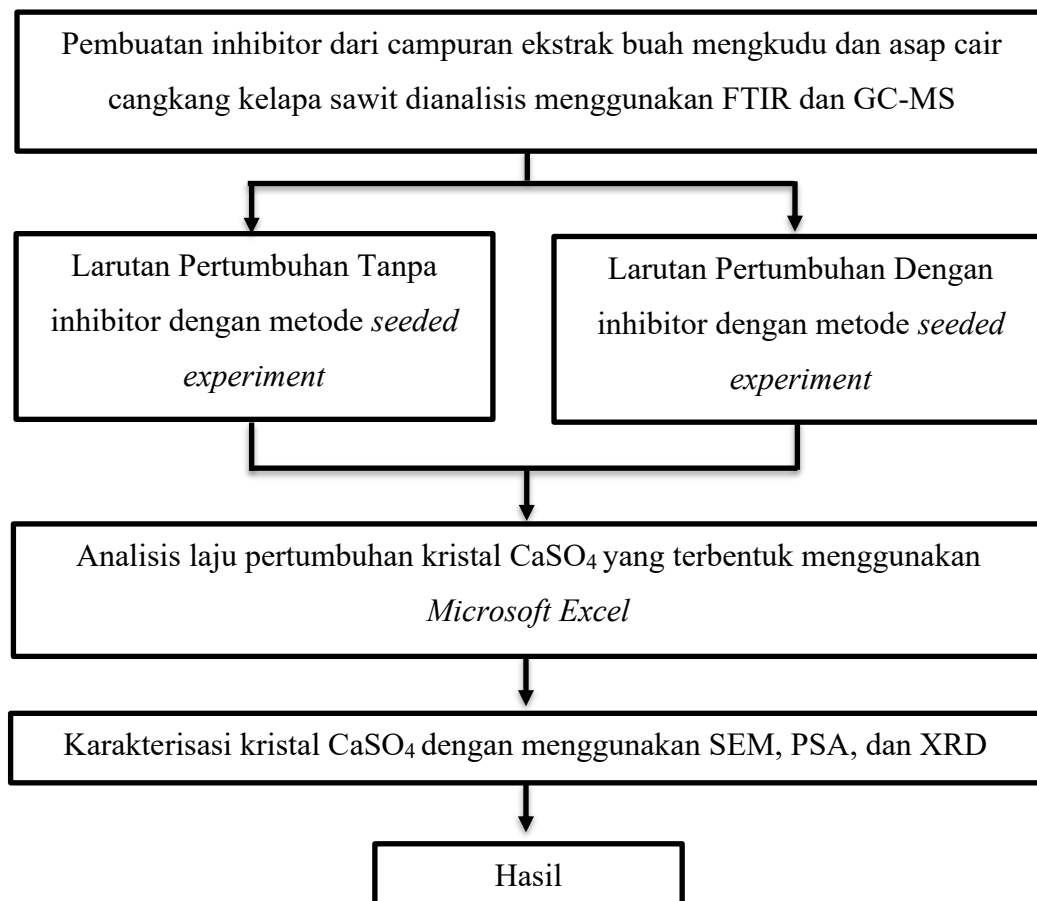
C_b = berat endapan tanpa penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

C_0 = berat endapan awal (g/L)

Morfologi kerak CaSO_4 sebanyak masing-masing 1 gram sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan SEM. Perubahan ukuran partikel dari kelimpahan CaSO_4 pada masing-masing endapan dari setiap percobaan yang dilakukan sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan PSA. Fasa kristalin kristal CaSO_4 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan XRD.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Secara menyeluruh alur penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Campuran inhibitor ekstrak mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit memiliki pengaruh terhadap laju pertumbuhan kerak CaSO_4 sebagai inhibitor yang ramah lingkungan, ditunjukkan dengan penurunan laju pertumbuhan, morfologi, fasa kristalin, dan ukuran partikel kerak CaSO_4 setelah ditambahkan inhibitor.
2. Inhibitor campuran ekstrak mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit memiliki nilai persen efektivitas tertinggi dalam menghambat laju pertumbuhan kerak CaSO_4 pada perbandingan inhibitor MA 7:5 dan pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0250 M sebesar 155,46 %.
3. Analisis morfologi permukaan kerak CaSO_4 dengan SEM menunjukkan bahwa terjadi perubahan, sebelum penambahan inhibitor kristal terlihat berbentuk seperti batang yang menumpuk, besar, dan memanjang, sedangkan setelah penambahan inhibitor kristal terlihat lebih kecil, pendek, dan tidak beraturan. Morfologi kerak CaSO_4 menunjukkan kristal fasa gipsum, basanit, dan anhidrit.
4. Analisis fasa kristal CaSO_4 dengan XRD menunjukkan perbedaan bentuk puncak difraktogram kerak CaSO_4 . Sebelum penambahan inhibitor terbentuk fasa gipsum dan basanit dan setelah penambahan inhibitor terbentuk fasa baru yakni anhidrit dengan fasa gipsum dan basanit.

5. Analisis distribusi ukuran partikel kerak CaSO_4 menggunakan PSA menunjukkan bahwa kerak CaSO_4 sebelum dan setelah penambahan inhibitor mengalami penurunan ukuran kristal yakni nilai rata-rata (*mean*) dari 123,29 μm menjadi 109,81 μm dan nilai tengah (*median*) dari 104,14 μm menjadi 43,14 μm .

5.2 Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran berupa perlunya penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak CaSO_4 menggunakan inhibitor yang sama (ekstrak mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit) menggunakan konsentrasi kerak CaSO_4 yang lebih tinggi dan metode yang sama yakni *seeded experiment*. Kemudian, perlu juga dilakukan penelitian terhadap penghambatan kerak CaSO_4 menggunakan inhibitor dan konsentrasi kerak CaSO_4 yang sama dengan perbandingan konsentrasi inhibitor yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S., Cifriadi, A., dan Hidayah, M. 2015. Redestilat Asap Cair dari Cangkang Kelapa Sawit dan Aplikasinya Sebagai Koagulan Karet Alam. *Jurnal Penelitian Karet*. 33(2): 183-192.
- Albab, S. A. 2016. Variasi Temperatur Pembentukan Kristal CaSO_4 pada Konsentrasi Larutan 3000 ppm dengan Laju Aliran 30mL/Menit. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Semarang. Semarang.
- Alderton, D. and Royal, H. 2020. *X-Ray Diffraction (XRD)*. Department of Earth Sciences, Egham. United Kingdom.
- Al-Roomi, Y. M. and Hussain, K. F. 2016. Potential Kinetic Model for Scaling and Scale Inhibition Mechanism. *Desalination*. 186–195.
- Alice, A., Jor, H., Grey, S., Amy, E., Childress, Le-Clech, P., and Leslie, G. 2011. Scale Formation and Control in High Pressure Membrane Water Treatment Systems. *Journal of Membrane Science*. 383.
- Amjad, Z. 1998. *Water Soluble Polymers: Solution Properties and Applications*. Plenum Press. New York. 117-129.
- Anggraeni, R. 2018. Penggunaan Asap Cair dari Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) dengan Metode *Seeded Experiment*. *Skripsi*. FMIPA Universitas Lampung.
- Anggraini, P. A. 2022. Studi Penambahan Campuran Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) dan Asap Cair Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*. *Skripsi*. FMIPA Universitas Lampung.
- Antony, A., Low, J. H., Gray, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., and Leslie, G. 2011. Scale Formation and Control In High Pressure Membrane Water Treatment Systems: A Review. *J. Membr. Sci.* 383(1): 1–16.
- Badr, A. dan Yassin, M. A. A. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *Journal of Applied Sciences*. 7(17): 2393-2403.

- Basim, H., Vinous, H., and Fadya, M. 2015. Mitigation of Crystallization Fouling in Double Pipe Heat Exchanger Using Glass Beads. *International Journal of Current Engineering and Technology*. 5(6): 3500-3506.
- Beck, R., Hakkinen, A., Sorensen, D. M. and Andreassen, P. J. 2009. The Effect of Crystallization Conditions, Crystal Morphology and Size on Pressure Filtration of L. Glutamic Acid and an Aromatic Amine. *Elsevier, Separation and Publication Technology*. 66: 549-598
- Brown, G. G. 1978. *Unit Operation*. John Willey & Sons. Tokyo.
- Cullity, B. D. 1987. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wisley. Publishing Company. Inc. New York.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G. S. 2015. *Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits*. Mineral Scales and Deposits. 701-720.
- Choi, B. C. K., Tennassee, L. M., and Eijkemans, G. J. M. 2001. Developing Regional Workplace Health and Hazard Surveillance in The Americas. *Pan American Journal of Public Health*. 10: 376-381.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Dhurhania, C. E. dan Agil, N. 2018. Uji Kandungan Fenolik Total dan Pengaruhnya terhadap Aktivitas Antioksidan dari Berbagai Bentuk Sediaan Sarang Semut (*Myrmecodia pendens*). *Jurnal Farmasi dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*. 5(2).
- Fachry, A. 2008. Pengaruh Waktu Kristalisasi dengan Proses Pendinginan Terhadap Pertumbuhan Kristal Amonium Sulfat dari Larutannya. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(15): 9-12.
- Faiz, M. M. K. 2015. Pemanfaatan Produk Cair Hasil Pirolisis Sebagai Pelarut Perekat Pada Biobriket Cangkang Kelapa Sawit. *Tugas Akhir Politeknik Negeri Samarinda*.
- Fauziati, F. dan Sampepana, E. 2016. Karakterisasi Komponen Aktif Asap Cair Cangkang Sawit Pemurnian. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 9(1): 64-72.
- Fessenden, R. J. dan Fessenden, J. S. 1986. *Kimia Organik Dasar Jilid 1*. Alih Bahasa oleh A. H. Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta. 319-326.
- Foust, A. S. 1980. *Principle of Unit Operation*. John Willey & Sons. New York.

- Frenier, W. and Ziauddin, M. 2008. *Formation, Removal, and Inhibition of Inorganic Scale in the Oilfield Environment*. Society of Petroleum Engineers.
- Girard, J. P. 1992. *Technology of Meat and Meat Product Smoking*. Ellis Harwood. New York: 162– 201.
- Grases, F., Derello, S., Isern, B., and Costa, B. A. 2007. *Myo-Inositol Hexakiphosphate (Phytate) Inhibits Calcium Carbonate Crystallization in Water*. Water SA. 33(5).
- Handayani, A. dan Sitompul, A. S. 1996. Teknik Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM-EDAX. *Makalah Kunjungan dan Demo PTBIN BATAN*. Serpong. 27.
- Harmiansyah, Dari, P., Wahyuni, S., Rahmawati, S., Wati, N., dan Putri, A. 2023. Karakteristik Arang dari Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Dasar Utama Pembuatan Biobriket. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*. 1(2): 29-36.
- Hasson, A. and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. 46: 97-104.
- Hatam, S. F., Edi, S., dan Jemmy, A. 2013. Aktivitas Antioksidan dari Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus* (L) Merr). *Jurnal Ilmiah Farmasi*. 2 (1).
- Himawati, E. 2010. Pengaruh Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Destilasi dan Redestilasi Terhadap Sifat Kimia, Mikrobiologi, dan Sensoris Ikan Pindang Layang (*Decapterus* Sp.) Selama Penyimpanan. *Skripsi*. Surakarta (ID): Universitas Sebelas Maret.
- Holysz, L., Aleksandra, S., and Emil, C. 2007. Effect of Carboxylic Acids on Water and Electrolyte Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. 316: 65-1002.
- Isopescus, R., Mateescu, C., Mihai, M., and Dabija, G. 2010. The Effects of Organic Additives on Induction Time and Characteristics of Precipitated CaCO₃. *Chemical Engineering Research and Design*. 88: 1450-1454.
- Karlana, I. 2009. *Studi Inhibitor Kaliksarena Pada Sistem Pendingin Sekunder RSG-Gas*. Buku I Prosiding PPI – PDIPTN. Yogyakarta.
- Kemmer, F. N. 1979. *The Nalco Water Hand Book*. Nalco Chemical Co. McGraw Hill Book CO. New York. 1-19.

- Kennedy, J. M., Evans, F., and Robinson. 2012. Identification for Control of The Process Parameters Influencing Tertiary Scale Formation at The Hot Strip Mill Using A Binary Choice Model. *Journal of Material Processing Technology*. 212: 1622-1630.
- Kiaei, Z. dan Haghtalab, A. 2014. Experimental Study of Using Ca-DTPMP Nanoparticles in Inhibition of CaCO_3 Scaling in a Bulk Water Process. *Desalination*. 33: 84 - 92.
- Khopkar, S. M. 2001. Konsep Dasar Kimia Analitik. UI Press. Jakarta. 194- 196.
- Komarayati, S., Gusmailina., dan Fiyanti, L. 2018. Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Asap Cair Kayu Trema, Nani, Merbau, Matoa, dan Kayu Malas. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. 36(3): 219–238.
- Kumar, T., Kumar, S., and Naiya, T. 2018. Developments in Oilfield Scale Handling Towards Green Technology. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 168: 428-444.
- Kurniawan, Y. H. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) menggunakan Metode *Unseeded Experiment*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Kusumastuti, R. 2012. Pengaruh Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) Sebagai Green Inhibitor Corrosion Pada Baja Karbon Di Lingkungan NaCl 3,5%. *Ma thesis*. University of Indonesia.
- Lestari, D. E., Geni, R. S., Yulianto, E. W., Sentot, A., dan Suryadi, B. 2004. *Kimia Air Reaktor Riset G.A Siwabessy*. Makalah Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Riset. Serpong: Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN.
- Ma'mun, H., Bayuseno, A. P., dan Muryanto, S. 2013. Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) di dalam Pipa Beraliran Laminer Pada Laju Alir 30 ml/Menit Hingga 50 ml/Menit dan Penambahan Aditif Asam Malat. *In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik*. Universitas Diponegoro Semarang. 1(1).
- Mani, D., Kalpana, M. S., Patil, D. J., and Dayal, A. M. 2017. *Organic Matter in Gas Shales: Origin, Evolution, and Characterization*. *Origin, Evolution, and Characterization*. *In Shale Gas: Exploration and Environmental and Economic Impacts*. Elsevier Inc
- Mc. Cabe and Warren, L. 1985. Unit Operations of Chemical Engineering 4 ed: 797- 833. *Mc Graw-Hill Book Co*. Singapore.

- Mentari. 2017. Pembuatan dan Pengujian Asap Cair dari Tempurung Kelapa Dan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Pengawet Ikan. *Skripsi*. Makassar (ID); Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Meyers, K. O. and Skillman, H. L. 1985. *The Chemistry and Design Of Scale Inhibitor Squeeze Treatments*. In: SPE Oilfield and Geothermal Chemistry Symposium: 9–11. Phoenix, Arizona.
- Murtaza, M., Alarifi, S. A., Rasm, M. Y., Kamal, M. S., Mahmoud, M., dan Al-Ajmi, M. 2022. Single Step Calcium Sulfate Scale Removal at High Temperature Using Tetrapotassium Ethylenediaminetetraacetate with Potassium Carbonate. *Scientific Reports*. 12(1).
- Nengsih, N. Y., Putri, F. H., Rizki, M. P., dan Roni, M. R. 2013. *Biofungisida Nanopartikel Perak dari Lactobacillus Delbrueckii Subsp. Bulgaricus*. PKM Penelitian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Olajire, A. A. 2015. A Review of Oilfield Scale Management Technology For Oil and Gas Production. *J. Petrol. Sci. Eng.* 135: 723–737.
- Patel, S. and Finan, M. A. 1999. New Antifoulants For Deposit Control in MSF and MED Plants. *Desalination*. 124: 63-74.
- Pertiwi, A. U. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat menggunakan Metode Seeded Experiment. *Skripsi*. Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Pujilestari, T. 2010. Analisa Sifat Fisiko Kimia dan Antibakteri Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit Untuk Pengawet Pangan. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 4(8): 1-8.
- Pundir, R. K. and Janir, P. 2010. Screening for Antifungal Activity of Commercially Available Chemical Food Preservatives. *Internationally Journal of Pharmaceutical Science Review and Research*. 5(2): 25-27.
- Rabima dan Sogandi. 2021. Identifikasi Senyawa Aktif Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia L.*) dan Potensinya sebagai Antioksidan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22(5): 206-212.
- Ratnawati dan Hartanto, S. 2010. Pengaruh Suhu Pirolisis Cangkang Sawit Terhadap Kuantitas dan Kualitas Asap Cair. *Jurnal Sains Material Indonesia*. 12(1): 7-11.
- Reddy, M. M. and Hoch, A. R. 2001. Calcite Crystal Growth Rate Inhibition by Polycarboxylic Acids. *Journal of Colloid and Interface Science*. 35(2): 365-370.

- Rini, H. U. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4). *Thesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Saito, T. 1996. *Buku Teks Kimia Anorganik Online*. Alih Bahasa oleh Ismundanar.
- Sarwendah, M., Feriadi, T., Wahyuni, dan Arisanti, T. N. 2019. Pemanfaatan Limbah Komoditas Perkebunan untuk Pembuatan Asap Cair. *Jurnal Littri*. 25(1): 22-30.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Mudzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung: UPI Press.
- Shibata, M., Varman, Y., Tono, Y., Miyafuji, and Saka, S. 2008. Characterization in Chemical Composition of The Oil Palm. *J JPN Inst Energy*. 87(5): 383-388.
- Shukeir, R. 2005. *Approach of Scale Problem Removal in GOS Oil Companies*. Egypt: Schlumberger.
- Sousa, M. F. and Bertran, C. A. 2014. New Methodology Based on Static Light Scattering Measurements for Evaluation of Inhibitors for in Bulk Crystallization. *Journal of Colloid and Interface Science*. 57-64.
- Stashenko, E. and Martínez, J. R. 2014. *Advances in Gas Chromatography - Chapter1: Gas Chromatography-Mass Spectrometry*.
- Suharso. 2010. Growth of the (001) Face of Borax Crystals. *Indonesian Journal of Chemistry*. 5 (2): 98-100.
- Suharso, Buhani, Suhartati, T., dan Aprilia, L. 2007. *Sintesis C-Metil-4,10,16,22 Tetrametoksi Kaliks[4]Aren dan Peranannya sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)*. Laporan Akhir Program Insentif. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix Arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. 26(18): 6155–6158.
- Suharso, Buhani, dan Suhartati, T. 2009. The Role of C-Methyl-4,10,16,22 Tetrametoxo Calix Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(2): 206 – 210.
- Suharso dan Buhani. 2011. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *Jurnal Natur Indonesia*. 13(2): 100-104.

- Suharso dan Buhani. 2012. *Penanggulangan Kerak*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Lampung.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulangan Kerak*. Edisi 2. Graha Ilmu. Bandar Lampung. 92.
- Suharso, Buhani, Endaryanto, T., and Reno, T. 2017b. Modification of Gambier Extracs as Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering*. 18: 1-6.
- Suharso, Buhani, Yuwono, S. D., and Tugiyono. 2017a. Inhibition of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment*. 68: 32-39.
- Suharso, Setiosari, E., Kiswandono, A. A., Buhani, and Satria, H. 2019. Liquid Smoke of Coconut Shell as Green Inhibitor of Calcium Carbonate Scale Formation. *Desalination and Water Treatment*. 169: 29-37.
- Suprpti, M. L. 2005. *Aneka Olahan Mengkudu Berkhasiat Obat*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Supratman, U. 2010. Equilibrium Penentuan Senyawa Organik. Padjajaran Bandung. 102-108.
- Thoo, Y. Y., Ho, S. K., Liang, J. Y., Ho, C. W., and Tan, C. P. 2010. Effects of Binary Solvent Extraction System, Extraction Time and Extraction Temperature on Phenolic Antioxidants and Antioxidant Capacity From Mengkudu (*Morinda citrifolia*). *Food Chemistry*. 120(1): 290–295.
- Torres, S. N. C. 2005. Improved Detection of TNT using SPME- TEEM-GC/MD Mode Immersion in Water dan Soil. *Thesis Master of Science*. University of Puerto Rico. Mayaguez Campus. 1-107.
- Totoki, S., Wada, Y., Moriya, N., and Shimaoka, H. 2007. *DEP Active Grating Method: a New Approach for Size Analysis of Nano-Sized Particles*.
- Wafiroh, S. 1995. Pemurnian Garam Rakyat dengan Kristalisasi Bertingkat. *Laporan Penelitian*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Wardoyo, E. R. P., Anggraeni, W., Rahmawati, dan Oramahi, H. A. 2020. Aktivitas Antifungi Asap Cair Tandan Kosong *Elaeis guineensis* Jacq. terhadap *Colletotrichum* sp. (WA2). *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia*. 7(2): 271-279.
- Wang, Y., Moo, Y. X., Chen, C., Gunawan, P., and Xu, R. 2010. Fast Precipitation of Uniform CaCO_3 Nanospheres and Their Transformation to Hollow Hydroxyapatite Nanospheres. *Journal of Colloid and Interface Science*. 352(2): 393-400.

- Wijayanto, S. O. dan Bayuseno, A. P. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Pengujian: Mikrografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*. 2 (1).
- Yan, Y., Yu, T., Zhang, H., Song, J., Qu, C., Li, J., and Yang, B. 2021. Co-Deposition Mechanisms of Calcium Sulfate and Calcium Carbonate Scale in Produced Water. *Crystals*. 11(12): 1494.
- Yatagai, M. 2004. Utilization of Charcoal and Wood Vinegar in Japan. *Seminar on "Enhancing The Development Wood and Vinegar"*. Bogor.
- Yuni, N., Tumanggor, J., dan Fachry, A. 2008. Pengaruh Waktu Kristalisasi dengan Proses Pendinginan Terhadap Pertumbuhan Kristal Amonium Sulfat dari Larutannya. *Jurnal Teknik Kimia*. 15 (2): 9-16.
- Zeihner, E. H. K., Bosco, H., and Williams, K. D. 2003. Novel Antiscalant Dosing Control. *Desalination*. 157: 2.