

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR SERABUT KELAPA SAWIT  
SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIMUM SULFAT ( $\text{CaSO}_4$ )  
MENGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**SEPTIANA RAHAYU NINGTYAS  
2017011017**



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

## ABSTRAK

### STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR SERABUT KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO<sub>4</sub>) MENGGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT*

Oleh

**Septiana Rahayu Ningtyas**

Permasalahan keberadaan kerak yang ditemukan pada pipa industri dapat menjadi masalah serius yang menyebabkan penyempitan jalur aliran fluida dan mengakibatkan kerugian. Keberadaan kerak seperti kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>) menjadi salah satu jenis kerak yang sering ditemukan pada permasalahan tersebut, sehingga dibutuhkan metode penghambatan kerak menggunakan inhibitor kerak. Oleh karena itu, dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian asap cair serabut kelapa sawit sebagai inhibitor kerak CaSO<sub>4</sub> menggunakan metode penambahan bibit kristal (*seeded experiment*). Konsentrasi larutan pertumbuhan CaSO<sub>4</sub> 0,038; 0,050; 0,063 dan 0,075 M diujikan pada inhibitor asap cair serabut kelapa sawit dengan variasi konsentrasi 75, 100, 125, dan 150 ppm. Efektivitas inhibitor tertinggi terjadi pada penambahan inhibitor dengan konsentrasi 150 ppm terhadap larutan pertumbuhan dengan konsentrasi 0,038 M diperoleh persentase efektivitas sebesar 51,38 %. Hasil analisis kualitatif menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) setelah penambahan inhibitor, morfologi kerak CaSO<sub>4</sub> berbentuk lebih pendek, berukuran kecil, dan tidak beraturan. Analisis kualitatif menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan adanya penurunan intensitas setelah penambahan inhibitor dengan munculnya fasa baru anhidrit didominasi oleh fasa basanit dan sedikit gipsum. Analisis kuantitatif menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan penurunan ukuran partikel kristal CaSO<sub>4</sub> setelah penambahan inhibitor yakni nilai rata-rata (*mean*) dari 14,68 µm menjadi 12,62 µm dan nilai tengah (*median*) dari 11,61 µm menjadi 10,01 µm.

Kata kunci: asap cair serabut kelapa sawit, inhibitor, kerak CaSO<sub>4</sub>

## **ABSTRACT**

### **STUDY OF ADDITIONAL PALM FIBER LIQUID SMOKE AS CALCIUM SULFATE (CaSO<sub>4</sub>) INHIBITOR USING SEEDED EXPERIMENT METHOD**

**By**

**Septiana Rahayu Ningtyas**

The problem of scale formation found in industrial pipes can be a serious issue, causing narrowing of fluid flow paths and resulting in losses. Scale such as calcium sulfate (CaSO<sub>4</sub>) is a common type encountered in these issues, necessitating scale inhibition methods using scale inhibitors. Therefore, this study conducted testing of palm oil fiber smoke liquid as a CaSO<sub>4</sub> scale inhibitor using the seeded experiment method. Concentrations of CaSO<sub>4</sub> growth solution at 0.038; 0.050; 0.063; and 0.075 M were tested with varying concentrations of palm fiber liquid smoke inhibitors at 75, 100, 125, and 150 ppm. The highest inhibitor effectiveness occurred with the addition of 150 ppm inhibitor to a growth solution of 0.038 M CaSO<sub>4</sub>, resulting in an effectiveness percentage of 51.38%. Qualitative analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) after inhibitor addition showed that the morphology of CaSO<sub>4</sub> scale became shorter, smaller, and irregularly shaped. Qualitative analysis using X-Ray Diffraction (XRD) indicated a decrease in intensity after inhibitor addition, with the appearance of a new anhydrite phase dominated by basanite and some gypsum phases. Quantitative analysis using Particle Size Analyzer (PSA) revealed a decrease in the crystal particle size of CaSO<sub>4</sub> after inhibitor addition, with the mean decreasing from 14.68 μm to 12.62 μm and the median from 11.61 μm to 10.01 μm.

**Keywords:** palm fiber liquid smoke, inhibitor, CaSO<sub>4</sub> scale

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR SERABUT KELAPA SAWIT  
SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO<sub>4</sub>)  
MENGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT***

**Oleh**

**SEPTIANA RAHAYU NINGTYAS**

**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  
2024**

Judul : **STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR  
SERABUT KELAPA SAWIT SEBAGAI  
INHIBITOR KERAK KALSIMUM SULFAT  
(CaSO<sub>4</sub>) MENGGUNAKAN METODE  
SEEDED EXPERIMENT**

Nama Mahasiswa : **Septiana Rahayu Ningtyas**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2017011017**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

  
**Prof. Ir. Suharsno, Ph.D.**  
NIP. 196905301995121001

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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA



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

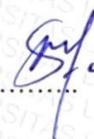
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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



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



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 1 Agustus 2024

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Septiana Rahayu Ningtyas  
NPM : 2017011017  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “**Studi Penambahan Asap Cair Serabut Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) 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, 8 Agustus 2024  
Yang Menyatakan,



METERAI  
TEMPEL  
13256ALX287967714

Septiana Rahayu Ningtyas  
NPM. 2017011017

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Septiana Rahayu Ningtyas, lahir di Serang pada tanggal 21 September 2001. Penulis merupakan putri kedua dari pasangan Bapak Hary dan Ibu Chandra. Saat ini penulis bertempat tinggal di Serang, Banten. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 20 Kota Serang pada tahun 2014. Kemudian, melanjutkan pendidikan ke MTsN 1 Kota Serang hingga tahun 2017. Penulis menamatkan pendidikan menengah atasnya di SMA Negeri 2 Kota Serang pada tahun 2020. Selanjutnya, penulis diterima di Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN pada tahun yang sama.

Selama masa kuliah, penulis aktif dalam organisasi intra kampus seperti Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) menjabat sebagai anggota Biro Penerbitan (BP) pada Periode 2021-2022 dan *staff* Departemen Hubungan Masyarakat (Humas) UKM-U Sains dan Teknologi pada Periode 2021-2022. Penulis juga aktif mengikuti organisasi di luar kampus yakni Himpunan Mahasiswa Banten (HMB) Lampung menjabat sebagai sekretaris umum pada Periode 2023-2024. Penulis mengikuti kegiatan BKP Magang Industri Program Kompetisi Kampus Merdeka (PKKM) di PT Indo Energy Solutions Bandar Lampung pada tahun 2022-2023 dengan melaksanakan *project* Praktik Kerja Lapangan dan penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Jatimulyo, Kecamatan Jatiagung, Kabupaten Lampung Selatan. Penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung dengan judul "Studi Penambahan Asap Cair Serabut Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*".

## **MOTTO**

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

**(QS. Al-Baqarah : 186)**

“You can't go back and change the beginning, but you can start where you are and change the ending”

**(C.S. Lewis)**

“Kesuksesan tidak diukur dari seberapa sering Anda jatuh, tetapi seberapa sering Anda bangkit kembali”

**(Vince Lombardi)**

## PERSEMBAHAN

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT. atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang selalu menyertai setiap langkahku, sehingga terciptalah sebuah karya yang ku persembahkan sebagai wujud bakti dan tanggung jawabku kepada:

Bapak Hary dan Ibu Chandra yang membesarkan, mendidik, memberikan cinta dan kasih sayang, mendoakan, menyemangati, serta senantiasa mendukung dan menemani setiap langkahku. Semoga Allah SWT hadiahkan *Jannah-Nya* untukmu, *Aamiin yaa Robbal'alamin*.

Mas Bayu yang telah mendukung dan mendoakan dalam segala hal. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan keberkahan, keberhasilan, dan kebahagiaan kepada keluarga ini.

Pembimbing penelitianku, Bapak Prof. Suharso, Ph.D. dan Ibu Prof. Buhani, M.Si., dan Penguji penelitianku Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. Terima kasih atas bimbingan, nasihat, dan ilmu yang telah diberikan selama ini.

Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas dedikasi, ilmu, dan bimbingan yang tak ternilai harganya.

Keluarga besar dan sahabat-sahabatku yang memberikan dukungan moral dan spiritual. Terima kasih atas segala doa dan motivasinya.

Serta,

Almamaterku tercinta, Universitas Lampung

## SANWACANA

*Alhamdulillah rabbil 'alamin.* Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmad dan hidayah-Nya dan tidak lupa iringan shalawat senantiasa kita sanjung agungkan kepada junjungan dan baginda besar kita Nabi Muhammad SAW yang senantiasa diharapkan syafaatnya hingga hari akhir kelak, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Penambahan Asap Cair Serabut Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*” Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, kritik, saran, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini teriring do'a yang tulus, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak dan Ibu yang sangat berjasa karena selalu mendukung, mendo'akan, memotivasi, menjadi tempat berkeluh kesah, dan selalu berusaha memberikan yang terbaik kepada penulis. Ucapan terima kasih tidak akan cukup mewakili rasa syukur penulis karena terlahir dan tumbuh sebagai putri yang selalu dididik untuk menjadi lebih baik setiap waktunya. Semoga Allah SWT. selalu memberikan perlindungan, kesehatan, rezeki, kebahagiaan dunia akhirat, dan umur yang panjang sehingga dapat selalu bersama dalam suka maupun duka yang akan datang.

2. Kakak penulis, Mas Bayu yang selalu mendukung, mendo'akan, memotivasi, dan menjadi tempat berkeluh kesah. Terima kasih untuk selalu memberikan nasihat-nasihat terbaik dari setiap permasalahan yang dihadapi penulis. Semoga selalu dalam lindungan Allah SWT dan hal-hal baik selalu menyertaimu.
3. Bapak Prof. Suharso, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama terima kasih atas segala kebaikan, ilmu, bimbingan, motivasi, kritik dan saran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan dan keberkahan atas semua kebaikan yang telah bapak berikan.
4. Ibu Prof. Buhani, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Kedua terima kasih atas segala ilmu, bimbingan, saran dan kritik sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah SWT selalu memberikan rida-Nya dan membalas semua kebaikan Bapak.
5. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku Dosen Pembahas atas kritik, saran, ilmu yang telah diberikan. Terima kasih atas segala kesediaannya untuk memberikan yang terbaik untuk penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga Allah SWT selalu memberikan keberkahan atas semua kebaikan yang telah ibu berikan.
6. Ibu Dr. Nurhasanah, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing, memberikan arahan, dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan sejak awal masa studi di jurusan kimia. Semoga Allah SWT selalu memberikan keberkahan atas semua kebaikan yang telah ibu berikan.
7. Ibu Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu dalam segala hal terkait administrasi dan menyetujui laporan skripsi ini.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu, pengalaman yang sangat berharga dan bermanfaat, serta motivasi kepada penulis selama menjadi mahasiswi jurusan kimia.

9. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerja Sama FMIPA Universitas Lampung.
10. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
11. Sahabat-sahabat SMA ku, Tazkia, Rifa, dan Adilla yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan semangat, dan dukungan sejak masa SMA. Terima kasih untuk segala do'a dan dukungannya yang tiada henti hingga saat ini. Semoga Allah SWT selalu memberikan kelancaran dan keberkahan dalam setiap aktivitas yang dilakukan.
12. Nabil Purnama, terima kasih atas dukungan, semangat, serta telah menjadi tempat berkeluh kesah, selalu ada dalam suka maupun duka selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini. Semoga setiap urusannya selalu dilancarkan dan dipermudah, sukses selalu kedepannya.
13. Sahabat-sahabat magang ku, Oliv, Tasya, Nisa dan Safitri yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan semangat, dan dukungan sejak awal kenal saat magang. Semoga pertemanan ini akan terus terjalin hingga nanti dan semoga kalian selalu diberikan kelancaran dan kesuksesan kedepannya.
14. Rekan seperjuangan seperbimbingan Sarah, Fara, dan Diana yang telah banyak membantu, memberikan dukungan, dan bekerja sama sehingga penelitian dan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga dilancarkan untuk setiap urusan dan sukses selalu.
15. Sahabat-sahabatku sesama anak rantau dari Banten, Dina, Afra, Juju, dan Puja atas segala bantuan, dukungan, dan waktu yang telah kita habiskan selama ini. Terima kasih sudah menemani penulis sejak awal perkuliahan dan perantauan hingga saat ini. Semoga pertemanan ini akan terus terjalin hingga nanti dan semoga kalian selalu diberikan kelancaran dan kesuksesan kedepannya.
16. Kakak-kakak senior *Suharso's Research*, Kak Maudi, Kak Alyaa, Kak Novani, dan Kak Nurul yang telah banyak membantu dan memberi arahan kepada penulis saat melaksanakan penelitian. Semoga selalu diberikan kelancaran dan kesuksesan kedepannya.

17. Teman-teman Kimia kelas B dan angkatan 2020 yang tidak dapat disebutkan satu per-satu, terima kasih atas bantuan serta dukungannya. Semoga selalu diberikan kelancaran dan kesuksesan kedepannya.
18. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per-satu yang telah memberikan dukungan, doa, nasihat, dan bimbingan dalam penulisan laporan ini.
19. Untuk diri saya Septiana Rahayu Ningtyas, terima kasih karena telah berusaha dan berjuang sejauh ini, serta menikmati setiap proses yang bisa dibilang tidak mudah. *I wanna thank me for believing in me and doing all this hard work.* Ini merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri dan awal dari kehidupan yang sesungguhnya, tetap semangat mengejar hal-hal yang masih ingin dicapai.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan dalam penyusunan skripsi ini. Namun, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Bandar Lampung, 8 Agustus 2024  
Yang Menyatakan,

Septiana Rahayu Ningtyas  
NPM. 2017011017

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Pengendapan Senyawa Anorganik .....	5
2.2 Kerak .....	7
2.3 Pembentukan Kerak .....	8
2.4 Faktor Pembentukan Kristal.....	10
2.5 Kalsium Sulfat (CaSO <sub>4</sub> ).....	13
2.6 Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak CaSO <sub>4</sub> .....	14
2.7 Tanaman Kelapa Sawit.....	15
2.8 Asap Cair Serabut Kelapa Sawit .....	17
2.9 Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	18
2.10 Analisis dan Karakterisasi Kerak Kalsium Sulfat (CaSO <sub>4</sub> ) .....	19
2.10.1 Spektrofotometer <i>Infra Red</i> (IR).....	19
2.10.2 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	20
2.10.3 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	21
2.10.4 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) .....	22
2.10.5 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	23

<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.3 Prosedur Penelitian .....	26
3.3.1 Pembuatan Asap Cair Serabut Kelapa Sawit .....	26
3.3.2 Pembuatan Inhibitor Asap Cair Serabut Kelapa Sawit .....	26
3.3.3 Pembuatan Bibit Kristal.....	27
3.3.4 Pengujian Inhibitor Asap Cair Serabut Kelapa Sawit dalam Pembentukan Kristal Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ).....	28
3.3.5 Analisis Data .....	30
3.3.6 Diagram Alir Penelitian .....	30
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
4.1 Pembuatan dan Analisis Inhibitor dari Asap Cair Serabut Kelapa Sawit	32
4.2 Uji Ketahanan Larutan Inhibitor .....	33
4.3 Analisis Inhibitor Asap Cair Serabut Kelapa Sawit Menggunakan Spektrofotometer <i>Fourier-Transform Infrared</i> (FTIR) .....	34
4.4 Analisis Inhibitor Asap Cair Serabut Kelapa Sawit Menggunakan <i>Gas</i> <i>Chromatography- Mass Spectrometer</i> (GC-MS).....	36
4.5 Perbandingan Larutan Pertumbuhan Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) .....	38
4.6 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ Tanpa Penambahan Inhibitor dengan Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan Menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	40
4.7 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ Dengan Penambahan Inhibitor dengan Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan Menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	41
4.7.1 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,038 M.....	42
4.7.2 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,050 M.....	44
4.7.3 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,063 M.....	46
4.7.4 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,075 M.....	47
4.8 Karakterisasi Struktur Kerak $\text{CaSO}_4$ Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	48
4.9 Analisis Morfologi Kerak $\text{CaSO}_4$ Menggunakan <i>Scanning Electron</i> <i>Microscopy</i> (SEM).....	51

4.10 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Kerak CaSO <sub>4</sub> Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	52
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>55</b>
5.1 Simpulan .....	55
5.2 Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Endapan kerak yang umum terdapat di ladang minyak.....	8
2. Hasil analisis GC-MS limbah padat kelapa sawit .....	23
3. Nilai pH inhibitor AC serabut kelapa sawit setiap variasi konsentrasi... 33	
4. Gugus fungsi hasil analisis FTIR asap cair serabut kelapa sawit .....	36
5. Komponen-komponen asap cair serabut kelapa sawit.....	38
6. Nilai pH larutan pertumbuhan $\text{CaSO}_4$ sebelum dan sesudah penambahan inhibitor asap cair serabut kelapa sawit (AC) .....	42
7. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,038 M .....	43
8. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M .....	45
9. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,063 M .....	46
10. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M .....	48

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Skematik proses pertukaran panas .....	6
2. Mekanisme pertumbuhan kristal .....	10
3. Tahapan Kristalisasi.....	11
4. Diagram konsentrasi terhadap temperatur pembentukan inti kristal.....	12
5. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan (o = inhibitor, $\diamond$ = bibit kristal).....	15
6. Skema kerja spektrofotometer <i>Infra Red</i> .....	20
7. Gambar SEM morfologi kristal CaSO <sub>4</sub> dengan 5000x pembesaran (a) tanpa inhibitor, (b) dengan inhibitor 50 ppm.....	21
8. Distribusi ukuran partikel CaSO <sub>4</sub> .....	22
9. Pola XRD kristal CaSO <sub>4</sub> .....	24
10. Diagram Alir Penelitian.....	31
11. Pembuatan asap cair (a) Alat pirolisis dan (b) hasil pirolisis serabut kelapa sawit berupa asap cair .....	32
12. Uji ketahanan larutan inhibitor AC (a) 75 ppm, (b) 100 ppm, (c) 125 ppm, (d) 150 ppm .....	34
13. Spektrum FTIR asap cair serabut kelapa sawit .....	35
14. Kromatogram asap cair serabut kelapa sawit.....	37
15. Perbandingan larutan pertumbuhan CaSO <sub>4</sub> 0,038 M (a) tanpa inhibitor dan (b) dengan inhibitor AC 150 ppm.....	39
16. Perbandingan larutan pertumbuhan CaSO <sub>4</sub> 0,025 M (tanpa inhibitor, (b) dengan EDTA, (c) dengan inhibitor AC .....	39
17. Grafik laju pertumbuhan kerak CaSO <sub>4</sub> tanpa penambahan inhibitor..	40
18. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO <sub>4</sub> 0,038 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 75, 100, 125, dan 150 ppm.....	42

19. Reaksi Penghambatan Kerak $\text{CaSO}_4$ oleh 2-siklopentena-1-asam undekanoat .....	44
20. Grafik laju pertumbuhan kristal $\text{CaSO}_4$ 0,050 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 75, 100, 125, dan 150 ppm.....	45
21. Grafik laju pertumbuhan kristal $\text{CaSO}_4$ 0,063 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 75, 100, 125, dan 150 ppm.....	46
22. Grafik laju pertumbuhan kristal $\text{CaSO}_4$ 0,038 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 75, 100, 125, dan 150 ppm.....	47
23. Difraktogram kerak $\text{CaSO}_4$ tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor (G = gipsum, B = basanit, A = anhidrit).....	49
24. Morfologi kerak $\text{CaSO}_4$ pada konsentrasi 0,038 M dengan perbesaran 2500x (a) tanpa inhibitor (b) dengan inhibitor 150 ppm.....	51
25. Morfologi kerak $\text{CaSO}_4$ pada konsentrasi 0,038 M dengan perbesaran 5000x (a) tanpa inhibitor (b) dengan inhibitor 150 ppm.....	51
26. Distribusi Ukuran Partikel $\text{CaSO}_4$ .....	53

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagian besar sektor industri di Indonesia, termasuk industri minyak dan gas, mengandalkan pipa sebagai saluran untuk mengalirkan fluida. Pergerakan fluida selama aliran melalui pipa dapat menjadi masalah yang serius karena seiring berjalannya waktu, dapat terjadi penumpukan kerak. Akumulasi kerak di dalam peralatan industri mengakibatkan penurunan efisiensi dan diameter pipa, yang pada gilirannya menyebabkan penyempitan jalur aliran fluida dan gangguan dalam proses produksi. Gangguan aliran fluida dapat menyebabkan peningkatan suhu dan tekanan, meningkatkan risiko kerusakan atau bahkan keretakan pada pipa (Suharso *et al.*, 2015). Oleh sebab itu, biaya dan kerugian yang terjadi menjadi sangat besar, karena sebagian besar dana perawatan peralatan digunakan untuk mengganti atau memperbaiki bagian-bagian yang mengalami kerusakan akibat penumpukan kerak. Sehingga dibutuhkan adanya penanganan yang sesuai sebagai solusi mengurangi dampak merugikan dari permasalahan keberadaan kerak.

Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang mengendap serta membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi. Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh, dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal dan yang memiliki muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuk kerak (Aditya, 2019). Pengerakan (*scaling*) didefinisikan sebagai pengganggu pada membran yang terjadi karena presipitasi garam-garam

anorganik yang melapisi membran. Gangguan tersebut dapat memengaruhi kapabilitas membran untuk melewatkan ion-ion (Mulyati *et al.*, 2012).

Upaya untuk mengurangi pertumbuhan kerak dapat dilakukan dengan mengelola faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan kerak serta dengan menambahkan bahan aditif. Beberapa metode yang digunakan untuk mencegah pembentukan kerak pada peralatan industri termasuk pengendalian tingkat pH, melunakkan air, dan menghilangkan mineral padatan dalam air. Metode lain yang dapat digunakan untuk menghambat kerak yakni dengan penggunaan atau penambahan inhibitor (Suharso dan Buhani, 2011). Metode penghambatan kerak dengan menggunakan inhibitor kerak menjadi metode yang dapat dikembangkan karena lebih efektif, stabil, dan biaya terjangkau.

Kelapa sawit merupakan jenis perkebunan yang sedang dikembangkan di Provinsi Lampung. Bagian dari tanaman kelapa sawit hampir semuanya dapat dimanfaatkan. Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, tempurung dan serabut (*fiber*). Serabut kelapa sawit merupakan salah satu limbah terbesar yang dihasilkan dalam proses pengolahan minyak kelapa sawit. Limbah serabut kelapa sawit jika tidak dikelola dengan baik akan menjadi masalah dalam mencemari lingkungan sekitar. Serabut kelapa sawit termasuk salah satu limbah padat kelapa sawit yang mengandung komponen utama seperti selulosa, lignin, dan hemiselulosa (Ngatirah, 2017). Ketiga komponen tersebut bila dikondensasikan dari hasil pirolisisnya akan menghasilkan asap cair yang mengandung senyawa fenolik, karbonil, dan asam (Siregar *et al.*, 2020). Oleh karena itu, serabut kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai asap cair. Senyawa fenolik pada serabut kelapa sawit tersebut mengandung senyawa antioksidan yang dapat menghambat laju pertumbuhan kerak. Meninjau dari kandungan senyawa yang terdapat dalam asap cair serabut kelapa sawit, maka asap cair serabut kelapa sawit dapat dikembangkan menjadi inhibitor pada laju pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$  pada konsentrasi larutan pertumbuhan dan konsentrasi inhibitor yang berbeda.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas penambahan asap cair serabut kelapa sawit sebagai inhibitor dengan menggunakan metode *seeded experiment* pada pertumbuhan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Metode *seeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan agar lebih mudah mengamati pertumbuhan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Pemberian bibit kristal dapat mempercepat terjadinya proses kristalisasi yang mengakibatkan terjadinya peningkatan kecepatan pertumbuhan inti kristal  $\text{CaSO}_4$ , sehingga akan memudahkan dalam proses karakterisasi. Pada penelitian ini dilakukan analisis gugus fungsi inhibitor dengan menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan untuk mengetahui komponen senyawa kimianya dianalisis menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography - Mass Spectrometry*), efektivitas inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kerak  $\text{CaSO}_4$  dengan metode *seeded experiment* diketahui berdasarkan analisis data. Analisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi  $\text{CaSO}_4$ , analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kerak  $\text{CaSO}_4$ , sedangkan analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengukur distribusi ukuran partikelnya.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh penggunaan asap cair serabut kelapa sawit sebagai inhibitor pada berbagai konsentrasi terhadap pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ).
2. Mengetahui efektivitas asap cair serabut kelapa sawit dalam menghambat pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) dengan menggunakan metode *seeded experiment* melalui analisis data dan karakterisasi menggunakan SEM, PSA, dan XRD.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai pemanfaatan penggunaan asap cair serabut kelapa sawit sebagai inhibitor terhadap pencegahan pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang efektif, sehingga hasil penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pengembangan lebih lanjut dalam upaya mencegah terjadinya kerak pada peralatan industri dan mengurangi dampak negatif yang terkait dengan masalah tersebut.

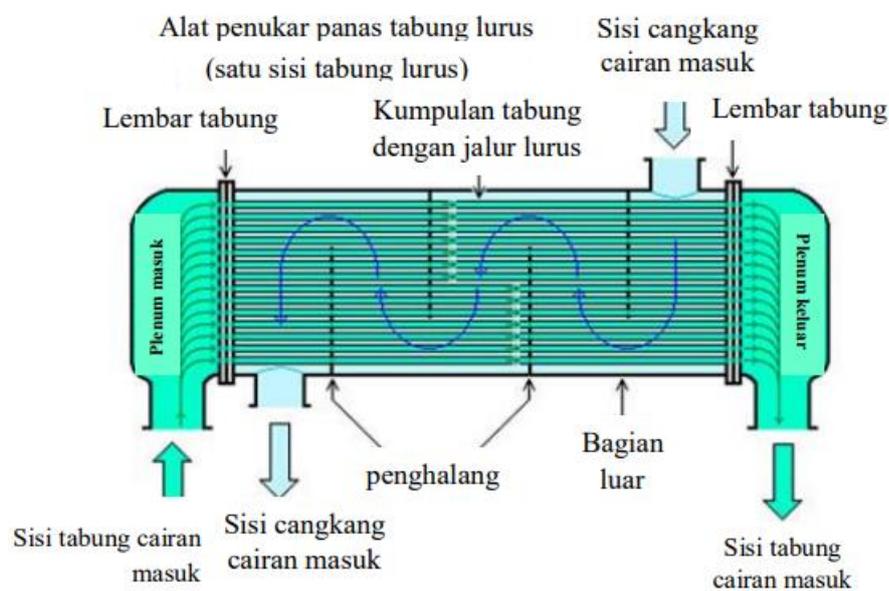
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengendapan Senyawa Anorganik

Telah banyak ditemui jenis endapan yang dihasilkan pada bidang perindustrian terutama industri minyak diantaranya, kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ), kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), serta barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ). Endapan didefinisikan sebagai bentuk kristal yang menempel pada permukaan instrumen yang mengalami proses perpindahan panas. Endapan yang menempel pada instrumen dapat dilakukan proses penghilangan dengan cara pengeboran (*drilling*). Endapan yang terbentuk dari larutan disebabkan adanya proses penurunan kelarutan pada kenaikan suhu operasional dan kristal padat melekat erat pada permukaan logam. Endapan yang terbentuk dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni endapan alkali dan non alkali. Endapan alkali dipengaruhi oleh tingkat alkalinitas larutan sementara endapan non alkali dipengaruhi oleh konsentrasi larutan (Raharjo, 2020).

Pengendapan mineral khususnya anorganik dapat dengan mudah terbentuk pada permukaan air yang mengalir ketika konsentrasi larutan memiliki kandungan ion terlarut yang tinggi. Endapan berupa senyawa-senyawa anorganik sering terjadi pada peralatan industri yang melibatkan penggunaan air garam seperti industri minyak dan gas, proses desalinasi dan ketel serta industri kimia (Ekananda *et al.*, 2019). Dalam hal tersebut maka unsur-unsur anorganik seperti logam kalsium (Ca) dalam jumlah yang melebihi kadar kelarutannya dalam kondisi setimbang dapat menjadi unsur pembentuk suatu kerak. Terjadinya penumpukan endapan yang berasal dari senyawa anorganik dapat menimbulkan masalah seperti kerak (Suharso *et al.*, 2010).

Pemanfaatan air sebagai media pendingin untuk menghilangkan panas yang tidak diinginkan dari proses perpindahan panas pada berbagai peralatan seperti alat penukar panas, kondensor, evaporator, sistem pendingin, dan dinding pipa yang digunakan dalam sistem pendinginan. Pendinginan dengan menggunakan air ini dilakukan dengan mengalirkan air ke seluruh tabung yang terkena proses panas, sehingga air yang sebelumnya panas akan menjadi dingin melalui proses penguapan dalam *cooling tower*. Air yang telah mengalami penurunan suhu lalu digunakan untuk siklus pendinginan selanjutnya. Ketika air berada dalam keadaan



**Gambar 1.** Skematik proses pertukaran panas (Wang *et al.*, 2019)

supersaturasi karena adanya mineral terlarut seperti magnesium, karbonat, sulfat, fosfat logam silikat/silika, dan besi yang dipengaruhi oleh naik-turunnya suhu secara tiba-tiba pada permukaan alat penukar panas saat air bersentuhan dengan permukaan (Mustain *et al.*, 2019). Pada Gambar 1 menunjukkan skematik proses pertukaran panas pada sistem pendinginan dapat dilakukan secara berulang (Wang *et al.*, 2019).

## 2.2 Kerak

Kerak merupakan hasil dari penumpukan keras senyawa anorganik yang mengendapkan partikel mineral dalam air dan membentuk lapisan kristal pada permukaan suatu peralatan penukar panas atau suatu substansi. Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh, dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut kembali jika ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis sementara itu kristal-kristal akan berkembang bila ukurannya lebih besar dari partikel kritis. Apabila ukuran inti kristal menjadi lebih besar dari inti kritis, maka akan mulailah pertumbuhan kristal, dari kristal kecil membentuk kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak). Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Aditya, 2019).

Pengerakan (*scaling*) didefinisikan sebagai pengganggu pada membran yang terjadi karena presipitasi garam-garam anorganik yang melapisi membran. Gangguan tersebut dapat memengaruhi kapabilitas membran untuk melewatkan ion-ion (Mulyati *et al.*, 2012). Pengerakan termasuk dalam proses alami yang terjadi karena adanya reaksi kimia antara kandungan-kandungan yang tidak dikehendaki yang terdapat dalam air. Kandungan yang dimaksudkan meliputi alkalin, kalsium, klorid, sulfat, nitrat, dan lain-lain. Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut diantaranya kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, temperatur, dan kehadiran pengotor juga aditif (Ekananda *et al.*, 2019).

Kerak juga dapat terbentuk disebabkan oleh faktor yang mempengaruhinya seperti terdapat campuran air yang digunakan tidak sesuai. Campuran dianggap tidak sesuai ketika air ini berinteraksi secara kimia dan mineralnya mengendap ketika dicampurkan. Endapan tersebut dapat menggumpal dan membentuk lapisan kristal. Contoh tipe air yang tidak sesuai adalah air laut dengan konsentrasi  $\text{SO}_4^{2-}$  tinggi dan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  rendah dan air formasi dengan konsentrasi  $\text{SO}_4^{2-}$  sangat rendah tetapi konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  tinggi. Campuran air ini menyebabkan terbentuknya endapan  $\text{CaSO}_4$  (Sutrisno *et al.*, 2012).

**Tabel 1.** Endapan kerak yang umum terdapat di ladang minyak (Raharjo, 2020).

Jenis Kerak	Rumus Kimia	Faktor yang berpengaruh
Kalsium Karbonat (Kalsit)	$\text{CaCO}_3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tekanan parsial <math>\text{CO}_2</math></li> <li>• Perubahan Temperatur</li> <li>• Total garam terlarut</li> <li>• Perubahan keasaman (pH)</li> </ul>
Kalsium sulfat Gypsum	$\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahan temperatur dan tekanan,</li> </ul>
Hemi-hidrat	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total garam terlarut</li> </ul>
Anhidrat	$\text{CaSO}_4$	
Barium sulfat	$\text{BaSO}_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahan temperatur dan tekanan,</li> </ul>
Strontium sulfat	$\text{SrSO}_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Total garam terlarut</li> </ul>

### 2.3 Pembentukan Kerak

Pada proses pembentukan kerak mempunyai beberapa faktor utama yang berpengaruh terhadap pembentukan, pertumbuhan, dan pengendapan kristal kerak meliputi perubahan kondisi dalam reservoir, penurunan tekanan reservoir dan perubahan temperatur, pencampuran dua jenis air dengan komposisi mineral yang tidak sesuai, keberadaan supersaturasi, penguapan yang disebabkan perubahan konsentrasi, pengadukan (seperti agitasi, dan pengaruh turbulensi), pengaruh waktu kontak antara padatan dengan permukaan media pengendapan, serta perubahan pH air (Antony *et al.*, 2011). Kerak terbentuk ketika larutan mencapai keadaan larutan lewat jenuh, dalam keadaan larutan jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal kemudian larut kembali menjadi ukuran lebih kecil daripada ukuran partikel kritis. Kristal-kristal yang terbentuk memiliki muatan ion yang lebih rendah sehingga cenderung akan menggumpal membentuk kerak (Suharso dan Buhani, 2015).

Menurut Speight (2016), proses pengendapan kerak dapat terjadi melalui 3 tahap, yaitu :

#### 1. Pembentukan Inti (Nukleasi)

Pada tahap nukleasi, terjadi pembentukan inti kristal yang berupa partikel halus sehingga tidak mengalami pengendapan selama proses aliran. Inti ini dapat terbentuk dari molekul atau ion yang merupakan bagian dari endapan, yang tumbuh bersamaan dengan jarak yang dekat. Inti ini juga dapat juga dikatakan sebagai partikel halus secara kimia tidak berhubungan dengan endapan, tetapi memiliki kesamaan dengan struktur kisi kristal.

## 2. Pertumbuhan Kristal

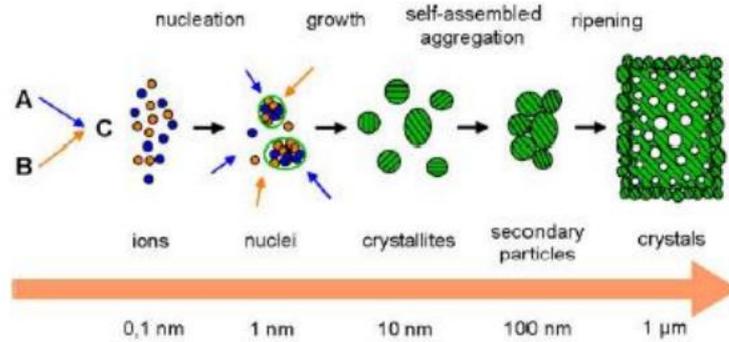
Dalam tahap pertumbuhan kristal, kristal terbentuk dari lapisan ion komponen endapan pada permukaan inti karena tidak mencapai kesetimbangan dalam proses pengolahan air yang melibatkan proses pengendapan. Inti akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar dengan diameter awal antara  $0,001 - 0,1 \mu$  (ukuran koloid), kemudian tumbuh lagi hingga diameter  $0,1 - 10 \mu$  (kristal halus). Kristal akan mulai mengendap ketika pertumbuhannya mencapai diameter lebih dari  $10 \mu$  (kristal kasar).

## 3. Tahap Pengendapan

Pengendapan akan menghasilkan materi padatan dan mungkin bukan bentuk padatan yang paling stabil untuk berbagai kondisi reaksi dan selama jangka waktu tertentu struktur kristal endapan dapat berubah menjadi fasa yang stabil.

Pematangan juga dipengaruhi oleh ukuran kristal endapan yang meningkat karena partikel yang lebih kecil memiliki energi permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan partikel yang lebih besar. Konsentrasi larutan dalam kesetimbangan untuk partikel yang lebih besar akan sebanding untuk partikel yang lebih besar. Oleh karena itu, partikel yang lebih besar terus tumbuh dalam berbagai ukuran partikel karena larutan masih dalam keadaan yang lewat jenuh. Partikel yang lebih kecil melarut, sebab konsentrasi larutan saat ini belum diketahui batas jenuhnya.

Mekanisme pertumbuhan kristal dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Mekanisme pertumbuhan kristal (Dera, 2018)

## 2.4 Faktor Pembentukan Kristal

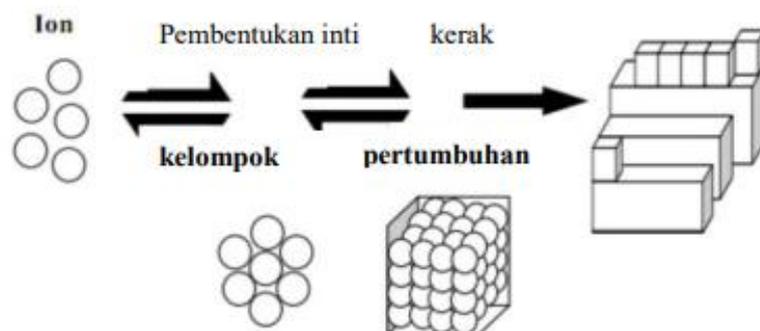
Atom-atom, ion-ion ataupun molekul-molekul zat padat dengan jarak yang teratur serta mempunyai pola berulang dalam tiga dimensi merupakan komposisi dari terbentuknya sebuah kristal. Kristal terbentuk dari zat cair melalui proses pemadatan. Kristal yang terbentuk saat proses pengendapan memiliki ukuran yang dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu laju pembentukan inti (nukleasi) dan laju pertumbuhan kristal. Laju pembentukan inti dapat diukur dengan jumlah inti yang terbentuk dalam periode waktu tertentu. Ketika laju pembentukan inti tinggi, maka akan terbentuk banyak kristal yang terdiri dari partikel-partikel kecil. Laju pembentukan inti bergantung pada derajat lewat jenuh dari suatu larutan. Semakin tinggi derajat lewat jenuhnya maka akan semakin besar kemungkinan untuk terbentuknya inti baru sehingga laju pembentukan inti pun akan semakin meningkat. Sementara itu, laju pertumbuhan kristal juga merupakan faktor penting yang memengaruhi ukuran kristal yang terbentuk selama pengendapan. Semakin tinggi laju pertumbuhan, maka kristal yang terbentuk akan semakin besar. Laju pertumbuhan kristal juga dipengaruhi oleh derajat lewat jenuh dari suatu larutan (Svehla, 1990). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan kristal sebagai berikut:

### 1. Kristalisasi

Kristalisasi adalah suatu proses pembentukan kristal dari larutannya dan kristal yang dihasilkan dapat dipisahkan secara mekanik. Pertumbuhan kristal

dapat terjadi bila konsentrasi suatu zat terlarut dalam larutannya melewati kadar kelarutan lewat jenuhnya pada suhu tertentu. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh dengan jalan pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan, dan dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya (Mullin, 2012).

Kristalisasi memiliki dua tahap proses, yaitu tahap pembentukan inti yang merupakan tahap mulai terbentuknya zat padat baru, dan tahap pertumbuhan kristal yang merupakan tahap inti zat padat yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan menjadi kristal yang lebih besar. Proses pertumbuhan kristal pada borak merupakan salah satu contoh kasus laju pertumbuhan kristal yang dapat dengan mudah diamati (Suharso *et al.*, 2008). Gambaran berupa proses pembentukan kristal ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Tahapan Kristalisasi (Suharso dan Buhani, 2015)

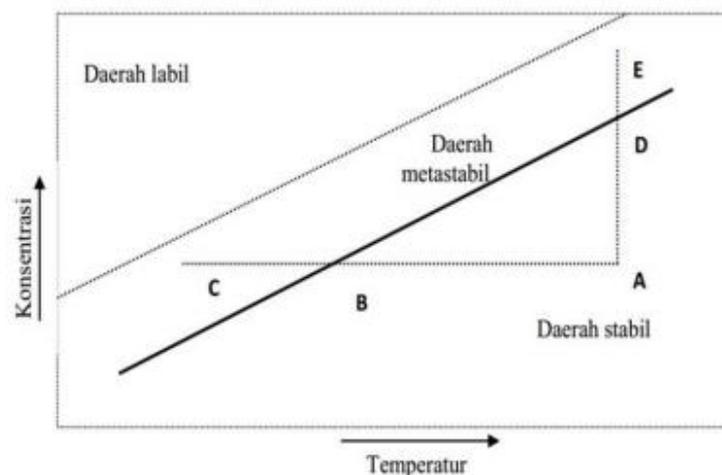
## 2. Kelarutan Endapan

Kelarutan dapat dipengaruhi oleh sifat serta konsentrasi zat-zat lain, terutama ion-ion yang hadir dalam campuran tersebut. Terdapat perbedaan yang signifikan dalam dampak ion yang sejenis dan ion asing. Ion sejenis adalah ion yang merupakan bagian dari salah satu zat dalam endapan. Jika terdapat jumlah berlebihan dari ion yang sama, maka kelarutan endapan dapat berkurang, meskipun dampak ini mungkin dapat diimbangi dengan pembentukan kompleks yang dapat meningkatkan kelarutan dengan ion yang berlebihan tersebut. Keberadaan ion asing dapat meningkatkan kelarutan endapan, tetapi peningkatan ini biasanya hanya sedikit, kecuali jika terjadi reaksi kimia seperti pembentukan kompleks atau reaksi asam-basa antara endapan dan ion asing.

Dalam kasus reaksi kimia tersebut, peningkatan kelarutan dapat menjadi lebih besar (Suharso dan Buhani, 2015).

### 3. Derajat Lewat Jenuh (Supersaturasi)

Larutan lewat jenuh adalah larutan yang memiliki jumlah zat terlarut yang melebihi kapasitas maksimum yang seharusnya diperlukan dalam larutan jenuh pada kondisi kesetimbangan. Larutan lewat jenuh dapat terbentuk melalui beberapa cara, termasuk pendinginan dari larutan yang kaya zat terlarut, penguapan dari larutan yang lebih encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan, serta dengan menambahkan zat lain untuk menurunkan kelarutannya. Diagram hubungan temperatur-konsentrasi dalam proses kristalisasi dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram konsentrasi terhadap temperatur pembentukan inti kristal (Suharso dan Buhani, 2015)

Terdapat faktor-faktor lain yang mempengaruhi terbentuknya kerak atau kristal diantaranya :

#### 1. Kualitas Air

Pembentukan kerak dipengaruhi oleh konsentrasi komponen-komponen pembentuk kerak (kesadahan kalsium, konsentrasi fosfat), pH, dan konsentrasi bahan penghambat kerak dalam air.

#### 2. Temperatur Air

Pada umumnya komponen pembentuk kerak cenderung mengendap atau menempel sebagai kerak pada temperatur tinggi. Hal ini disebabkan karena kelarutannya menurun dengan naiknya temperatur. Laju pergerakan mulai meningkat pada temperatur air 50 °C atau lebih dan kadang-kadang kerak terbentuk pada temperatur air diatas 60 °C.

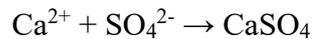
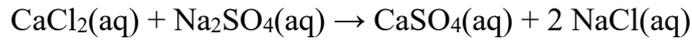
### 3. Laju Alir Air

Laju pembentukan kerak akan meningkat dengan turunnya laju alir sistem. Dalam kondisi tanpa pemakaian penghambat kerak, pada sistem dengan laju alir 0,6 m/detik maka laju pembentukan kerak hanya seperlima dibanding pada laju alir air 0,2 m/detik.

## 2.5 Kalsium Sulfat (CaSO<sub>4</sub>)

Kalsium sulfat merupakan garam kalsium yang berbentuk serbuk putih, tidak berbau, atau berwarna. Bentuk kristal kalsium sulfat kadang-kadang memiliki semburat biru, abu-abu atau kemerahan atau bisa merah bata. Kalsium sulfat memiliki massa jenis 2,96 g/cm<sup>3</sup>, berat molekul 136,134 g/mol, titik leleh 2840 °F dan kelarutan dalam air 2 g/L pada suhu 25 °C. CaSO<sub>4</sub> merupakan salah satu jenis kerak non alkali. Kerak ini dikenal dengan tiga bentuk yaitu anhidrat (CaSO<sub>4</sub>) stabil pada suhu 98 °C, hemihidrat (CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O) stabil pada suhu antara 98-170 °C, dan dihidrat (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O). Berbagai kalsium sulfat ini terbentuk karena adanya perbedaan temperatur dan konsentrasi air laut. Pada air sirkulasi dengan kesadahan kalsium tinggi, kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) dapat terendapkan sesuai dengan temperatur air. Kelarutan CaSO<sub>4</sub> bertambah dengan naiknya temperatur sampai 37 °C, kemudian cenderung menurun pada temperatur di atas 37 °C (Auditia *et al.*, 2018).

Kerak kalsium sulfat merupakan endapan senyawa CaSO<sub>4</sub> (kalsit) yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca<sup>2+</sup>) dengan ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ataupun dengan ion bisulfat (HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>). Berikut ini adalah reaksi yang menunjukkan terbentuknya kerak kalsium sulfat :



Kalsium membentuk kerak keras ketika berkombinasi dengan sulfat. Kerak  $\text{CaSO}_4$  kemudian dapat dihindari jika suhu operasi dipertahankan dibawah suhu  $421\text{ }^\circ\text{C}$  dan dengan memberikan inhibitor kerak (Suharso dan Buhani, 2015). Kristal kalsium sulfat terdiri dari beberapa fasa diantaranya adalah fasa gipsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), basanit ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) dan anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ). Fasa gipsum merupakan jenis fasa *hardscale* dan fasa basanit merupakan jenis fasa *softscale* serta fasa anhidrit merupakan jenis fasa *softscale*. Fasa gipsum (*hardscale*) merupakan jenis kristal yang sulit dihilangkan sedangkan fasa basanit dan anhidrit (*softscale*) merupakan kristal yang mudah lepas dari pipa atau mudah untuk dihilangkan. Ketiga fasa tersebut memiliki bentuk seperti batang (Raharjo, 2020).

## 2.6 Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak $\text{CaSO}_4$

Beberapa metode yang digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak  $\text{CaSO}_4$  pada peralatan-peralatan industri antara lain:

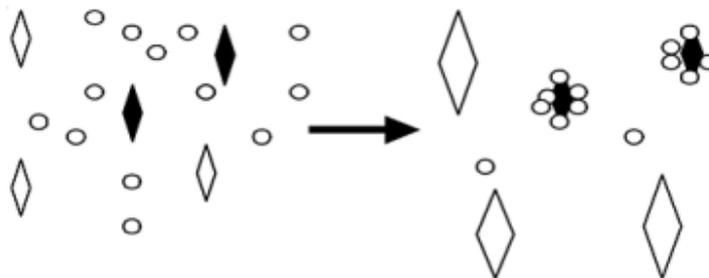
### 1. Pengendalian pH

Pengendalian pH dengan penginjeksian asam (asam sulfat atau asam klorida) telah lama diterapkan untuk mencegah pengendapan oleh garam-garam kalsium, garam logam bivalen dan garam fosfat. Kelarutan bahan pembentukan kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Pada pH 6,5 atau kurang, korosi pada baja karbon, tembaga dan paduan tembaga dengan cepat akan berlangsung dan pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak hanyalah pada pH 7,0 sampai 7,5. Oleh karena itu, suatu sistem otomatis penginjeksian asam diperlukan untuk mengendalikan pH secara tepat. Lagipula, asam sulfat dan asam klorida mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya. Saat ini penghambatan kerak dengan hanya menginjeksikan asam semakin jarang digunakan (Raharjo, 2020).

## 2. Penggunaan Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak pada umumnya merupakan bahan kimia yang ditambahkan pada substansi untuk mencegah atau menghentikan terbentuknya kerak dengan konsentrasi yang kecil ke dalam air. Prinsip kerja dari inhibitor kerak adalah pembentukan senyawa kompleks (khelet) antara inhibitor dengan unsur-unsur penyusun kerak (Patton, 1981). Terdapat dua macam inhibitor yang sering digunakan pada peralatan industri yaitu inhibitor kerak anorganik dan inhibitor kerak organik. Kerapatan elektron yang lebih tinggi dalam struktur inhibitor mampu mendorong efektivitas inhibitor dalam pencegahan kerak.

Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan pada Gambar 5. Gambar 5 memberikan gambaran bagaimana kerja inhibitor dalam mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal dari bibit kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam) yang mengakibatkan pertumbuhan kristal menjadi terhambat. Sementara itu, pada bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal yang tidak diberi warna) mengalami pertumbuhan normal (Suharso *et al.*, 2014).



**Gambar 5.** Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan (o = inhibitor,  $\diamond$  = bibit kristal) (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014)

### 2.7 Tanaman Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) berasal dari Nigeria, Afrika Barat. Meskipun demikian, ada yang menyatakan bahwa kelapa sawit berasal dari Amerika Selatan yaitu Brazil karena lebih banyak ditemukan spesies kelapa sawit

di hutan Brazil dibandingkan Afrika. Pada kenyataannya, tanaman kelapa sawit hidup subur di luar daerah asalnya, seperti Malaysia, Indonesia, Thailand, dan Papua Nugini. Tanaman kelapa sawit memiliki arti penting bagi pembangunan perkebunan nasional. Selain mampu menciptakan kesempatan kerja dan mengarah kepada kesejahteraan masyarakat, kelapa sawit juga sumber devisa negara dan Indonesia merupakan salah satu produsen utama minyak kelapa sawit (Fauzi *et al.*, 2002).

Tanaman kelapa sawit berkembang biak dengan biji dan akan berkecambah untuk selanjutnya tumbuh menjadi tanaman. Susunan buah kelapa sawit dari lapisan luar sebagai berikut:

1. Kulit buah yang licin dan keras (*epicarp*).
2. Daging buah (*mesocarp*) terdiri atas susunan serabut (*fiber*) dan mengandung minyak.
3. Kulit biji (cangkang/tempurung) berwarna hitam dan keras (*endocarp*).
4. Daging biji (*mesoperm*) berwarna putih dan mengandung minyak.
5. Lembaga (embrio).

Limbah padat kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, cangkang dan *fiber* (serabut). Diketahui untuk 1 ton kelapa sawit akan mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23% atau 230 kg, limbah cangkang (*shell*) sebanyak 6,5% atau 65 kg, *wet decanter solid* (lumpur sawit) 4 % atau 40 kg, serabut (*fiber*) 13% atau 130 kg serta limbah cair sebanyak 50%. Serabut kelapa sawit mengandung nutrient, fosfor (P), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan karbon (C), sehingga limbah ini dapat menjadi sumber pertumbuhan bakteri, dimana bakteri dapat juga digunakan dalam proses pengolahan limbah (Haryanti *et al.*, 2014).

## 2.8 Asap Cair Serabut Kelapa Sawit

Asap cair terbentuk dari kondensasi asap melalui proses pirolisis konstituen kayu seperti lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Asap cair mengandung berbagai senyawa fungsional (asam, alkohol, fenol) yang mempunyai peranan penting dalam pengendalian mikroorganisme dan menghambat pertumbuhan jamur serta bakteri. Proses pirolisis adalah proses dekomposisi termal senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana pada kondisi tanpa udara atau adanya udara dalam jumlah yang terbatas. Produk cair dari proses pirolisis disebut sebagai asap cair (*liquid smoke*). Cara pirolisis dari bahan baku misalnya batok kelapa, serabut kelapa atau kayu pada suhu 400-600 °C selama 90 menit untuk memperoleh asap, lalu diikuti dengan proses kondensasi di dalam kondensor dengan menggunakan air sebagai pendingin. Pada dasarnya bahan baku untuk menghasilkan asap cair ini bermacam-macam, antara lain kayu, tandan kosong kelapa sawit, cangkang kelapa sawit, tempurung kelapa sawit, pelepah kelapa sawit, dan serabut kelapa sawit (Pratama dan Sa'diyah, 2022).

Asap cair dapat dimanfaatkan sebagai pengawet alami non pangan seperti pada industri kayu dan perkebunan karet. Asap cair mengandung berbagai senyawa yang terbentuk karena terjadinya pirolisis tiga komponen kayu yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen-komponen tersebut ditemukan dalam jumlah yang bervariasi tergantung pada jenis kayu, umur tanam dan tempat tumbuh kelapa sawit (Maulina *et al.*, 2018).

Menurut Anom (2019), komponen utama asap cair dapat dikelompokkan menjadi tiga komponen utama yaitu:

### 1. Senyawa-Senyawa Fenol

Senyawa fenol diduga berperan sebagai antioksidan sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk asapan. Kandungan senyawa fenol dalam asap sangat tergantung pada temperatur pirolisis kayu. Senyawa-senyawa fenol yang terdapat dalam asap kayu umumnya hidrokarbon aromatik yang tersusun dari cincin benzena dengan sejumlah gugus hidroksil yang terikat.

## 2. Senyawa-Senyawa Karbonil

Senyawa-senyawa karbonil dalam asap memiliki peranan pada pewarnaan dan cita rasa produk asapan. Golongan senyawa ini mempunyai aroma seperti aroma karamel yang unik. Jenis senyawa karbonil yang terdapat dalam asap cair antara lain adalah vanilin dan siringaldehida.

## 3. Senyawa-Senyawa Asam

Senyawa-senyawa asam mempunyai peranan sebagai anti bakteri dan membentuk cita rasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butirrat, dan valerat.

Serabut kelapa sawit termasuk salah satu limbah padat kelapa sawit yang mengandung komponen utama seperti selulosa, lignin, dan hemiselulosa (Ngatirah, 2017). Ketiga komponen tersebut bila dikondensasikan dari hasil pirolisisnya akan menghasilkan asap cair yang mengandung senyawa fenolik, karbonil, dan asam (Siregar *et al.*, 2020). Senyawa fenolik tersebut mengandung senyawa antioksidan yang dapat menghambat laju korosi. Dengan adanya penghambat laju korosi maka asap cair serabut kelapa sawit dapat asap cair serabut kelapa dapat dikembangkan menjadi inhibitor pada laju pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$  pada konsentrasi larutan pertumbuhan dan konsentrasi inhibitor yang berbeda.

### **2.9 Metode *Seeded Experiment***

Metode *seeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit kristal dilakukan untuk mendorong terjadinya proses kristalisasi dengan lebih cepat. Adanya area permukaan bibit kristal akan mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Semakin cepat terjadinya proses kristalisasi maka akan semakin cepat laju pertumbuhan inti kristal kalsium sulfat untuk membentuk kristal yang lebih besar. Hal ini dilakukan untuk melihat laju

pertumbuhan kerak kalsium sulfat setelah ditambahkan inhibitor dengan penambahan bibit kristal (*seeded experiment*) (Setiososari, 2018).

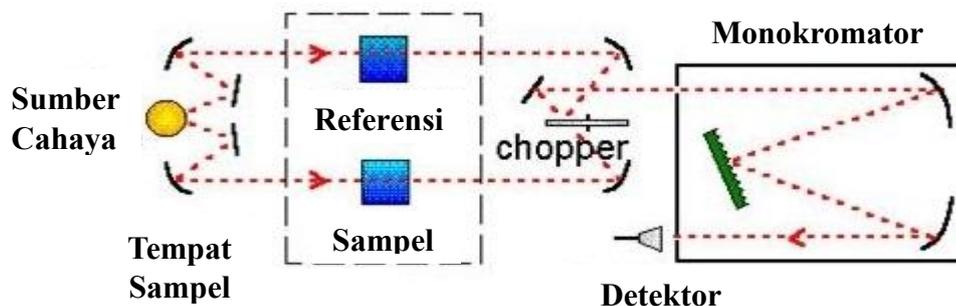
## 2.10 Analisis dan Karakterisasi Kerak Kalsium Sulfat (CaSO<sub>4</sub>)

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa analisis dan karakterisasi terhadap kerak CaSO<sub>4</sub> yang telah terbentuk. Analisisnya meliputi analisis menggunakan spektrofotometer IR untuk mengetahui adanya gugus-gugus fungsional utama dalam suatu sampel. Analisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) digunakan untuk mengetahui komponen senyawa kimia pada inhibitor campuran. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dari CaSO<sub>4</sub>. Analisis morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada permukaan kristal CaSO<sub>4</sub>. Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui seberapa efektif inhibitor asap cair serabut kelapa sawit pada pembentukan kerak CaSO<sub>4</sub>.

### 2.10.1 Spektrofotometer *Infra Red* (IR)

Spektrofotometer IR adalah spektrofotometer yang menggunakan sinar IR dekat, yakni sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5 –25  $\mu\text{m}$  atau jangkauan frekuensi 400–4000  $\text{cm}^{-1}$ . 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 tersebut berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*); energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Dengan demikian spektrofotometer IR dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul (Supratman, 2010).



**Gambar 6.** Skema kerja spektrofotometer *Infra Red* (Supratman, 2010)

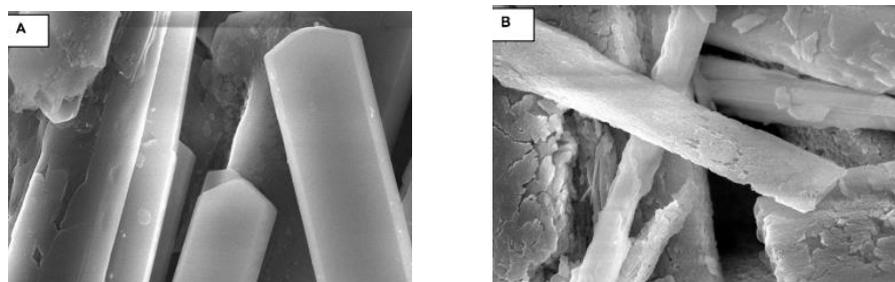
Pada Gambar 6 menunjukkan sebuah skema kerja yang terjadi pada penggunaan spektrofotometer IR. Dengan menggunakan analisis IR terhadap asap cair serabut kelapa sawit, diharapkan spektrum yang diperoleh dapat memberikan pita serapan yang menunjukkan adanya gugus C=O dari asam karboksilat, keton, aldehida dan ester pada bilangan gelombang 1690-1760  $\text{cm}^{-1}$ . Selain itu dapat menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang sekitar 3300  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C pada bilangan gelombang 3010-3095  $\text{cm}^{-1}$  atau 675-995  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-H alkana pada bilangan gelombang 2850-2970  $\text{cm}^{-1}$  atau 1340-1470  $\text{cm}^{-1}$  dan aromatik pada bilangan gelombang 690-900  $\text{cm}^{-1}$  atau 3010-3100  $\text{cm}^{-1}$  (Haji *et al.*, 2010).

### 2.10.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

*Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi atau struktur mikro permukaan dari suatu bahan atau material. Instrumen mikroskop elektron biasa digunakan untuk melihat ukuran dan bentuk partikel terutama untuk bubuk yang relatif kasar. Metode SEM merupakan pemeriksaan dan analisa permukaan atau lapisan yang tebalnya 20  $\mu\text{m}$  dari permukaan. Hasilnya berupa topografi dengan segala tonjolan dan bentuk permukaan. Gambar topografi diperoleh dari penangkapan pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan dari spesimen (Sujatno *et al.*, 2015).

Adapun prinsip kerja SEM adalah gelombang elektron yang dipancarkan elektron gun terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coil* yang diberikan energi menyediakan bidang magnetic bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai sampel menghasilkan

elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder dan detektor *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi (Sujarwata dan Budi, 2015). Pada sistem ini berkas elektron dikonsentrasikan pada spesimen, bayangannya diperbesar oleh lensa objektif dan diproyeksikan pada layar. Sinyal lain adalah *back scattered electron* yang intensifnya bergantung pada nomor atom unsur yang ada pada permukaan spesimen (Sujatno *et al.*, 2015). Hasil morfologi kristal  $\text{CaSO}_4$  menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 7.

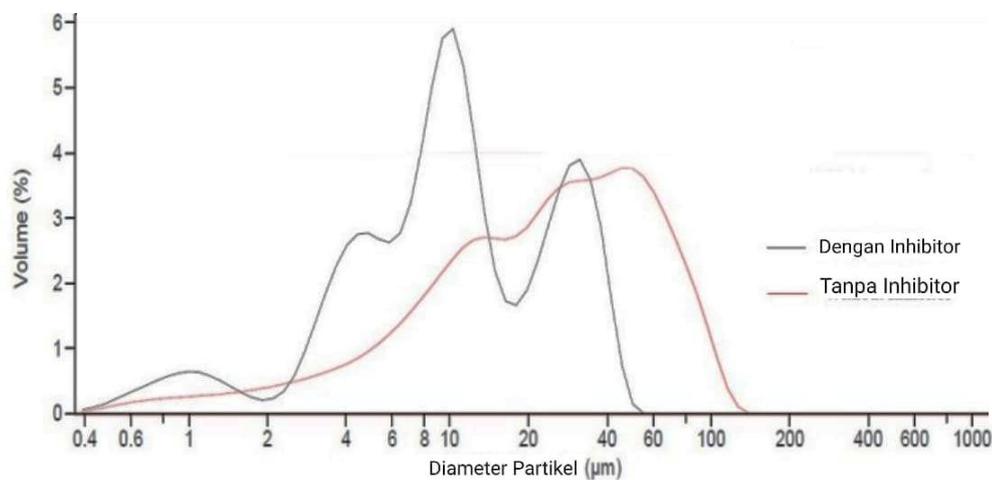


**Gambar 7.** Gambar SEM morfologi kristal  $\text{CaSO}_4$  dengan 5000x pembesaran (a) tanpa inhibitor, (b) dengan inhibitor 50 ppm (Suharso *et al.*, 2014)

### 2.10.3 Particle Size Analyzer (PSA)

*Particle size analyzer* (PSA) merupakan alat yang digunakan untuk karakterisasi distribusi ukuran partikel pada sampel. PSA dapat diaplikasikan pada material padat, emulsi, suspensi dan aerosol. Pada analisis suatu sampel banyak variasi metode yang dapat dilakukan, beberapa metode dapat digunakan untuk menganalisis partikel dalam jangkauan yang luas dan beberapa metode lagi digunakan untuk penerapan yang lebih spesifik. PSA lebih spesifik untuk menentukan ukuran partikel yang berbentuk lingkaran. Penggunaan dari difraksi laser cukup umum dalam metode pengukuran partikel, terutama ukuran partikel  $0,5 \mu\text{m}$ - $100 \mu\text{m}$ . Prinsip kerja dari PSA yaitu saat cahaya (laser) dihamburkan oleh kumpulan partikel, sudut cahaya hamburan akan berbanding terbalik dengan ukuran partikel. Semakin besar sudut cahaya hamburan maka ukuran partikel akan semakin kecil (Horiba, 2014). Hasil dari analisis menggunakan PSA dalam

penelitian ini untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dari kerak  $\text{CaSO}_4$  seperti pada Gambar 8. Pada Gambar 8 menunjukkan distribusi partikel kerak  $\text{CaSO}_4$  mengalami perubahan terhadap penggunaan inhibitor.



**Gambar 8.** Distribusi ukuran partikel  $\text{CaSO}_4$  (Suharso *et al.*, 2021)

Penyinaran sinar laser pada analisis ukuran partikel dalam keadaan tersebar. Pengukuran distribusi intensitas difraksi cahaya spasial dan penyebaran cahaya dari partikel. Distribusi ukuran partikel dihitung dari hasil pengukuran. Difraksi sinar laser analisis ukuran partikel meliputi perangkat laser untuk menghasilkan sinar laser ultraviolet sebagai sumber cahaya dan melekatkan atau melepaskan *fluorescent* untuk mengetahui permukaan *photodiode array* yang menghitung distribusi intensitas cahaya spasial dan penyebaran cahaya selama terjadinya pengukuran (Jatmiko, 2019).

#### 2.10.4 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

*Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merupakan metode pemisahan suatu senyawa berdasarkan volatilitas unsur-unsur pembentuk senyawa yang di rangkaikan dengan detektor yang mengidentifikasi jenis komponen berdasarkan massanya. Metode ini digunakan untuk menganalisa berbagai macam komponen penyusun suatu senyawa yang berbentuk gas dan stabil dalam suhu yang cukup tinggi yang kemudian diidentifikasi berdasarkan massa molekulnya (Rahmawati *et al.*, 2023).

Prinsip kerja GC-MS adalah sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor kemudian diuapkan. Sampel yang berupa uap dibawa oleh gas pembawa menuju kolom untuk proses pemisahan. Setelah terpisah, masing-masing komponen akan melalui ruang pengion dan dibombardir oleh elektron sehingga terjadi ionisasi. Fragmen-fragmen ion yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor dan dihasilkan spektrum massa (Pavia *et al.*, 2006). Limbah padat kelapa sawit yang dianalisis menggunakan GC-MS ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil analisis GC-MS limbah padat kelapa sawit (Haji, 2013)

No	Jenis	A/H			
		Fenol	Asam asetat	Asam heksadekanoid	2- metoksifenol
1	Sampel murni	37,48%	23,50%	7,94%	4,94%

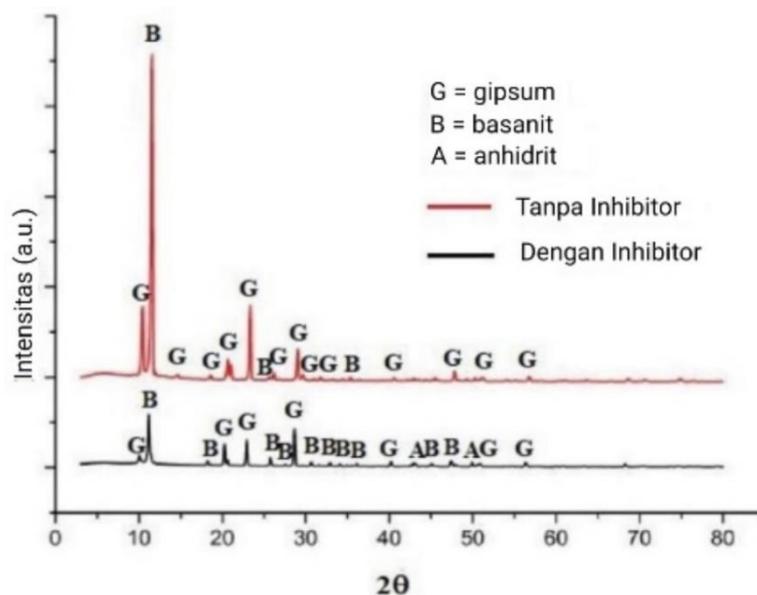
### 2.10.5 X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (XRD) adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal dan orientasi kristal. Analisis menggunakan alat difraktometer sinar-X didasarkan pada pola difraksi dari paduan atau senyawa yang dihasilkan oleh proses difraksi. Prinsip XRD adalah difraksi sinar-X ditembakkan pada suatu padatan kristal yang akan mengenai elektron dalam atom dan terjadi vibrasi pada awan elektron lalu sinar-X terdifraksi yang akan berinterferensi membentuk suatu pola khas dan berbeda untuk setiap bentuk kristalin (Mukaromah *et al.*, 2018).

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 dan Utami, 2016).

Pola difraksi yang terbentuk dari analisis menggunakan XRD pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui fase kristalin yang terbentuk pada kerak  $\text{CaSO}_4$ . Pada Gambar 9 dapat diketahui contoh pola difraksi XRD pada kerak  $\text{CaSO}_4$  yang terdiri dari fase gipsum, basanit, dan anhidrit.



**Gambar 9.** Pola XRD kristal  $\text{CaSO}_4$  (Suharso *et al.*, 2019)

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan November 2023 sampai Mei 2024. Analisis Spektrofotometer *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung, analisis *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS) di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, analisis *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran, dan analisis *X–ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh November.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah  $\text{CaCl}_2$  anhidrat,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , akuades, asap cair serabut kelapa sawit, dan kertas saring.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas, pH meter digital, gelas-gelas plastik, pengaduk magnet (spinbar), spatula, neraca analitik merek Arshwoth AA-160 *made in* Jepang, *waterbath* merek Thermoscientific AC 200/S21 *made in* Amerika Serikat, *hotplate stirrer* merek Stuart CB 162 *made in* China, oven merek Innotech *made in* China, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merek SEM-EDX JEOL JSM-6510LA *made in* Jepang, *X-ray Diffraction*

(XRD) merek Philip Analytical *made in* Belanda, Spektrofotometer *Fourier-Transform Infrared* (FTIR) merek Cary 630 Agilent *made in* California, *Gas Chromatography–Mass Spectrometry* (GC–MS) merek Shimadzu GCMS-QP2010 SE *made in* Jepang, dan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek Coulter LS 13320 *made in* United States.

### **3.3 Prosedur Penelitian**

#### **3.3.1 Pembuatan Asap Cair Serabut Kelapa Sawit**

Asap cair yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari serabut kelapa sawit melalui proses pirolisis. Bahan utama dalam pembuatan asap cair ini yakni serabut kelapa sawit yang diperoleh dari PT Indo Energy Solutions (IES) di Kota Bandar Lampung. Pembuatan asap cair serabut kelapa sawit dilaksanakan di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Universitas Lampung. Serabut kelapa sawit terlebih dahulu dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari langsung. Serabut kelapa sawit yang sudah kering dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, kemudian serabut kelapa sawit dipirolisis dengan lama waktu pirolisis bila asap cair sudah berhenti menetes. Asap yang keluar dari reaktor dialirkan ke dalam kolom pendingin menggunakan pipa penyalur, dan ke dalam kolom pendingin ini disalurkan air dengan pompa. Embun yang diperoleh berupa asap cair ditampung menggunakan botol kaca (Asmawit *et al.*, 2011).

#### **3.3.2 Pembuatan Inhibitor Asap Cair Serabut Kelapa Sawit**

Pembuatan inhibitor diawali dengan membuat larutan stok asap cair serabut kelapa sawit konsentrasi 1000 ppm dengan cara mengencerkan 1 mL atau setara dengan 1 g asap cair serabut kelapa sawit dalam labu ukur lalu ditambahkan akuades 1000 mL hingga tanda tera, kemudian dihomogenkan sehingga diperoleh larutan stok dengan konsentrasi 1000 ppm. Pada penelitian ini, digunakan asap cair serabut kelapa sawit dengan variasi konsentrasi 75, 100, 125, dan 150 ppm.

Pembuatan larutan inhibitor asap cair dengan konsentrasi 75 ppm dilakukan dengan mengambil 75 mL larutan stok kemudian ditambah 1000 mL akuades di dalam labu ukur hingga tanda batas, lalu dihomogenkan sehingga diperoleh larutan inhibitor dengan konsentrasi 75 ppm. Kemudian diukur nilai keasamannya menggunakan pH meter. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 100, 125, dan 150 ppm.

Kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam asap cair serabut kelapa sawit menggunakan spektrofotometer FTIR dan untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terdapat di dalam asap cair serabut kelapa sawit dilakukan analisis menggunakan GC-MS.

### **3.3.3 Pembuatan Bibit Kristal**

Proses pembuatan bibit kristal dalam penelitian ini dilakukan dengan cara mencampurkan masing-masing  $\text{CaCl}_2$  anhidrat (larutan 1 M) sebanyak 27,75 g dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (larutan 1 M) sebanyak 35,5 g dengan 250 mL akuades dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Larutan dihomogenkan dengan cara diaduk menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 90 °C selama 15 menit. Kemudian, larutan  $\text{CaCl}_2$  anhidrat dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dicampurkan dan diaduk menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 90 °C selama 15 menit hingga larutan mengendap dengan sempurna. Endapan  $\text{CaSO}_4$  yang telah terbentuk dipisahkan dari larutan menggunakan kertas saring. Kemudian endapan  $\text{CaSO}_4$  dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Proses ini diulang beberapa kali hingga didapatkan bibit kristal yang cukup untuk melakukan penelitian. Hasil kristal yang didapatkan akan digunakan sebagai bibit kristal untuk diamati pertumbuhannya (Suharso *et al.*, 2009).

### **3.3.4 Pengujian Inhibitor Asap Cair Serabut Kelapa Sawit dalam Pembentukan Kristal Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ )**

Pengujian asap cair serabut kelapa sawit sebagai inhibitor dalam menghambat pembentukan kristal kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) dengan metode *seeded experiment* dilakukan melalui beberapa tahapan, diantaranya sebagai berikut:

#### **3.3.4.1 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Tanpa Penambahan Inhibitor pada Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment***

Larutan pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  0,038 M dibuat dari larutan 0,075 M  $\text{CaCl}_2$  anhidrat dan larutan 0,075 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang masing-masing dilarutkan dalam 200 mL akuades. Selanjutnya masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk dengan *hotplate stirrer* menggunakan spinbar selama 15 menit pada suhu 90 °C hingga larutan menjadi homogen. Kemudian larutan  $\text{CaCl}_2$  anhidrat 0,075 M dan larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,075 M dicampurkan dan diaduk dengan *hotplate stirrer* menggunakan spinbar selama 15 menit pada suhu 90 °C agar dapat terbentuk kerak  $\text{CaSO}_4$  dengan konsentrasi 0,038 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Setelah kedua larutan dicampurkan, larutan dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang berbeda dengan masing-masing sebanyak 50 mL larutan pertumbuhan dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Kemudian diletakkan di dalam *water bath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dapat dilakukan pada waktu 15 menit pertama satu gelas diambil dan disaring menggunakan kertas saring yang telah ditimbang, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Selanjutnya gelas diambil tiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebesar 0,100 M; 0,125 M; dan 0,150 M untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak  $\text{CaSO}_4$  tanpa penambahan inhibitor sebesar 0,050; 0,063; dan 0,075 M. Endapan  $\text{CaSO}_4$  yang terbentuk ditimbang, kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui konsentrasi inhibitor yang paling efektif sehingga dapat dilakukan analisis morfologinya menggunakan

instrumen SEM, analisis struktur kristal menggunakan XRD, dan distribusi ukuran partikel dalam endapannya menggunakan PSA.

#### **3.3.4.2 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO<sub>4</sub> dengan menggunakan Penambahan Inhibitor pada Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment***

Larutan pertumbuhan CaSO<sub>4</sub> 0,038 M dibuat dari larutan 0,075 M CaCl<sub>2</sub> anhidrat dan larutan 0,075 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang masing-masing dilarutkan dalam 200 mL larutan inhibitor asap cair 75 ppm. Selanjutnya masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk dengan *hotplate stirrer* menggunakan spinbar selama 15 menit pada suhu 90 °C hingga larutan menjadi homogen. Kemudian larutan CaCl<sub>2</sub> anhidrat 0,075 M dan larutan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,075 M dicampurkan dan diaduk dengan *hotplate stirrer* menggunakan spinbar selama 15 menit pada suhu 90 °C agar dapat terbentuk kerak CaSO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 0,038 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Setelah kedua larutan dicampurkan, larutan dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang berbeda dengan masing-masing sebanyak 50 mL larutan pertumbuhan dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Kemudian diletakkan di dalam *water bath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dapat dilakukan pada waktu 15 menit pertama satu gelas diambil dan disaring menggunakan kertas saring yang telah ditimbang, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Selanjutnya gelas diambil tiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 0,100; 0,125; dan 0,150 M serta variasi konsentrasi inhibitor asap cair serabut kelapa sawit 100, 125, dan 150 ppm untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak CaSO<sub>4</sub> dengan inhibitor sebesar 0,050; 0,063; dan 0,075 M. Endapan CaSO<sub>4</sub> yang terbentuk ditimbang, kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui konsentrasi inhibitor yang paling efektif sehingga dapat dilakukan analisis morfologinya menggunakan instrumen SEM, analisis struktur kristal menggunakan XRD, dan distribusi ukuran partikel dalam endapannya menggunakan PSA.

### 3.3.5 Analisis Data

Analisis data dilakukan berdasarkan jumlah kristal kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang terbentuk terhadap waktu, baik dalam kondisi tanpa penggunaan inhibitor maupun dengan penggunaan inhibitor. Penelitian ini dilakukan dengan berbagai variasi konsentrasi larutan pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dan variasi konsentrasi inhibitor, dimana masing-masing data akan diolah dan diplot dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2019 untuk menghasilkan grafik yang menunjukkan jumlah massa kristal  $\text{CaSO}_4$  yang terbentuk terhadap waktu laju pertumbuhan kristal  $\text{CaSO}_4$ . Nilai slope atau kemiringan yang dihasilkan dari masing-masing grafik tersebut menunjukkan tingkat pertumbuhan kerak  $\text{CaSO}_4$ . Kemudian morfologi kerak  $\text{CaSO}_4$  yang terbentuk sebelum atau setelah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Selain itu, perubahan ukuran partikel  $\text{CaSO}_4$  pada masing-masing endapan dari setiap percobaan dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Struktur kristal  $\text{CaSO}_4$  sebelum dan setelah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD).

Data yang telah diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui efektivitas dari asap cair serabut kelapa sawit sebagai inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan endapan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan Persamaan 1 (Suharso *et al.*, 2019).

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

Keterangan:

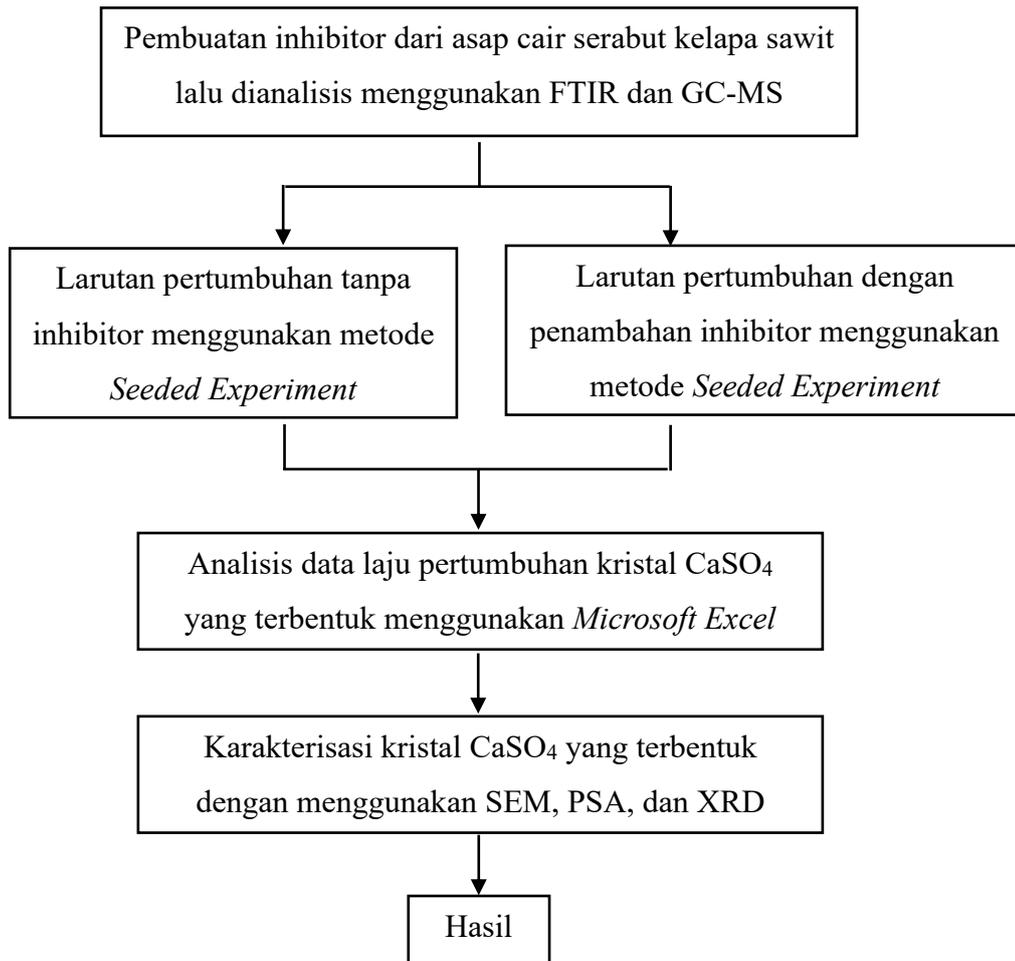
$C_a$  = berat endapan dengan penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

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

$C_0$  = berat endapan awal (g/L).

### 3.3.6 Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan, rangkaian alur pada penelitian ini dapat diilustrasikan melalui diagram penelitian yang terlihat dalam Gambar 10.



**Gambar 10.** Diagram Alir Penelitian

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

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

1. Penggunaan inhibitor asap cair serabut kelapa sawit memiliki peran dalam menghambat pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang ditunjukkan dengan adanya penurunan laju pertumbuhan kristal  $\text{CaSO}_4$ , perubahan morfologi kristal, perubahan struktur kristal, serta perubahan distribusi ukuran partikel  $\text{CaSO}_4$  setelah penambahan inhibitor.
2. Presentase efektivitas inhibitor tertinggi yakni sebesar 51,38% pada kerak  $\text{CaSO}_4$  dengan konsentrasi larutan pertumbuhan 0,038 M dengan penambahan inhibitor asap cair serabut kelapa sawit dengan konsentrasi 150 ppm.
3. Analisis struktur kristal  $\text{CaSO}_4$  menggunakan XRD menunjukkan perbedaan bentuk puncak difraktogram kerak  $\text{CaSO}_4$ . Sebelum penambahan inhibitor terbentuk fasa kristal gipsum dan basanit dan setelah penambahan inhibitor asap cair serabut kelapa sawit terbentuk fasa baru yakni anhidrit dengan didominasi oleh fasa basanit dan sedikit gipsum.
4. Analisis morfologi kerak  $\text{CaSO}_4$  menggunakan SEM menunjukkan adanya perubahan bentuk morfologi kerak  $\text{CaSO}_4$ . Sebelum penambahan inhibitor terbentuk kerak berupa batang yang berukuran panjang, besar, lebar, dan padat, sedangkan setelah penambahan inhibitor kerak berbentuk lebih pendek, berukuran kecil, dan tidak beraturan.

5. Analisis distribusi ukuran partikel  $\text{CaSO}_4$  menggunakan PSA menunjukkan adanya penurunan nilai *mean* dan *median* setelah penambahan inhibitor. Diperoleh selisih *mean* sebesar 2,06  $\mu\text{m}$  dan selisih *median* sebesar 1,6  $\mu\text{m}$ .

## 5.2 Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran agar perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terhadap pengambatan kerak  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan variasi inhibitor lain dengan kandungan yang lebih baik dan metode yang sama atau metode lain seperti metode tanpa penambahan bibit kristal (*unseeded experiment*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, V. 2019. Pengaruh Penambahan Aditif 5 ppm Ion  $\text{Cu}^{2+}$  terhadap Pertumbuhan Kerak Mg pada Pipa Laminer dengan Laju 30 mL/Menit. *Jurnal TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*. 19 (2): 76-86.
- Anom, I. D. 2019. Pembuatan Asap Cair Sabut Kelapa sebagai Bahan Pengawet Kayu pada Kelompok Tani Kelapa Di Desa Kamangta Kecamatan Pineleng. *Abdimas: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*. 12 (3): 31-36.
- 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. *Journal of Membrane Science*. 383: 1-16.
- Asmawit, Hidayat, dan Supriyatna, N. 2011. Utilization of Liquid Smoke from Oil Palm Empty Bunches in Raw Rubber Processing. *Biopropal Industri*. 2 (1): 7-12.
- Auditia, B. A., Rendih, Debora, E., Mulatua, H. H., dan Rachmansya. 2018. Pengaruh Penggunaan Bubuk Gypsum Sebagai Filler Dalam Campuran Aspal. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*. 7 (26): 149-155.
- Dera, N. S. 2018. Pengaruh pH Larutan Terhadap Nukleasi Dan Pertumbuhan Kristal Barium Sulfat Didalam Pipa Beraliran Laminar: Pengamatan Kristal Menggunakan SEM-EDX Dan XRD. *Journal of Infrastructure and Science Engineering*. 1 (2): 1-8.
- Ekananda, R., Wismawati, E., dan Budiyanto, E. N. 2019. Pengaruh Campuran Asam Sitrat Dan Asam Sulfamat Sebagai Alternatif Pembersihan Kerak Pada Pipa Material Carbon Steel. *Proceeding 4rd Conference of Piping Engineering and its Application*. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Surabaya.
- Fauzi, Y., Widyastuti, Y. E., Sastyawibawa, I., dan Hartono, R. 2002. *Budidaya Pemanfaatan dan Analisa Usaha dan Pemasaran Kelapa Sawit*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Haji, A. G., Pari, G, Habibati, Amiruddin, dan Maulina. 2010. Kajian Mutu Arang Hasil Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Purifikasi*. 11 (1): 77-86.
- Haji, A. G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*. 9 (3): 109-116.

- Haryanti, A., Noersamsi, Putri S. F. S., dan Novy P. P. 2014. Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Konervsi*. 3 (2): 57-66.
- Hasson, D. dan Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Waste Water Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. 46: 97–104.
- Horiba. 2014. *A Guidebook to Particle Size Analysis*. Horiba Instruments. Inc. USA.
- Jatmiko, W. A., 2019. Pengaruh Rasio Jumlah dan Diameter Bola Baja Dalam Proses sintesis Material dengan Shaker Milling Terhadap Ukuran Partikel Kaolin. Skripsi. Program Sarjana Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kroschwitz, J. 1990. *Polymer Characterization and Analysis*. John Wiley and Sons. Inc. Canada.
- Luditama, C. 2006. Isolasi dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar Tempurung Kelapa secara Pirolisis dan Destilasi. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor
- Mahmud, Y., Lististio, D., Irfan, M., dan Zam, S. I. 2021. Efektivitas Asap Cair Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Mengendalikan *Ganoderma boninense* Dan *Curvularia sp.* In Vitro. *Jurnal Pertanian Presisi*. 5 (1): 24-39.
- Maulina, S., Fakhradila, dan Nurtahara. 2018. Ekstraksi Asap Cair dari Pelepeh Kelapa Sawit menggunakan Pelarut Etil Asetat dan Heksana. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 7: 28-32.
- Mukaromah, A. H., Azizah, I. H., Ariyadi, T., dan Mifbakhuddin. 2018. Karakterisasi Membran Zeolit ZSM-5 Berdasarkan Variasi Jenis dan Ukuran Kasa dengan Pre-Treatment Direndam dalam NaOH, HCl, dan Elektro-oksidasasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Prosiding Seminar Unimus*. 1: 194-205.
- Mullin, J. 2012. *Industrial Crystallization*. Springer US. Switzerland.
- Mulyati, S., Takagi, R., Fujii, A., Ohmukai, T., Maruyama. T., and Matsuyama, H. 2012. Improvement of The Antifouling Potential of an Anion Exchange Membrane by Surface Modification with a Polyelectrolyte for an Electrodialysis Process. *Journal of Membrane Science*. 417–418: 137–143.
- Mustain, I., Abdurohman, dan H. Rahmanto. 2019. Studi Kinerja Fresh Water Generator Di Kapal AHTS PETEKA 5401. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*. 1 (2): 7-12.
- Ngatirah. 2017. *Teknologi Penanganan Dan Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit*. Instiper Yogyakarta. Yogyakarta.
- Patton, C. 1981. *Oilfield Water System 2nd ed*. Campbell petroleum series. USA.

- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., and Engel, R. G. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Microscale Approach 4th ed.* Brooks/Cole Laboratory Series for Organic Chemistry. USA.
- Pertiwi, A. U. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Lampung.
- Pratama, A. S. C. dan Sa'diyah, K. 2022. Pengaruh Jenis Biomassa Terhadap Karakteristik Asap Cair Melalui Metode Pirolisis. *Jurnal Teknologi Separasi*. 8 (1): 36-44.
- Raharjo, S. 2020. *Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral di Dalam Pipa*. Universitas Muhamadiyah Semarang. Semarang.
- Rahmawati, K. P., Aini, D. M., dan Harniati, W. 2023. Ekstrak Jeruk Nipis Sebagai Obat Terapi Penyembuhan Penyakit Gastritis dengan metode GC-MS. *Journal of Pharmaceutical and Health Research*. 4 (1): 152-158.
- Rini, H. dan Utami. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). *Tesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
- Setiososari, E. 2018. Studi Penggunaan Asap Cair Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Siregar, F. R., Tamrin, dan Wirjosentono, B. 2020. Effect of Pyrolysis Temperature on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) and Organic Acid Compounds from Oil Palm Shell Liquid Smoke. *Journal of Chemical Natural Resources*. 2 (2): 87-96.
- Speight, J. G. 2016. *Handbook of Hydraulic Fracturing*. Wiley. Germany.
- 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. Bandar Lampung.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulangan Kerak Edisi 2*. Graha Ilmu. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix [4] Arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. 26 (18): 6155–6158.
- Suharso, Buhani, and T. Suhartati. 2009. The Role of C-Methyl-4,10,16,22-Tetramethoxy Calix[4]Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Scale Formation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9 (2): 206-210.

- Suharso, Buhani, dan Tugiono. 2015. Pembuatan Senyawa Turunan Kaliksarena Untuk Inhibitor Kerak Material Anorganik. *Prosiding SEMIRATA 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat Universitas Tanjungpura*. Pontianak.
- Suharso, Buhani, Bahri, S., and Endaryanto, T. 2010. The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ) Scale Formation. *Asian Journal Research Chemistry*. 3 (1): 183-187.
- 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.
- Suharso, Padli, M., Tugiyono. and Buhani. 2021. Combination of Gambier Extract and Benzoic Acid as Inhibitor of Calcium Sulfate Scale Formation. *Rasayan Journal of Chemistry*. 14 (1): 141-148.
- Suharso, Parkinson, G., and Ogden, M. 2008. AFM investigation of Borax (100) Face: Two-Dimensional Nucleation Growth. *Advances in Natural and Applied Sciences*. 2 (3): 135-141.
- Sujarwata, dan Budi A. 2015. *Sensor Ofet Berbasis Film Tipis untuk Deteksi Gas Beracun*. Deepublish. Yogyakarta.
- Sujatno, A., Rohmad S., Bandriyana, dan Arbi D. 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. 9 (2): 44-50
- Sunarko. 2009. *Budidaya dan Pengolahan Kebun Kelapa Sawit dengan Sistem Kemitraan*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Supratman, U. 2010. *Equilibrium Penentuan Senyawa Organik*. UniePadjajaran Bandung.
- Sutrisno, Muryanto, S., dan Bayuseno, A. P. 2012. Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Kerak Gypsum Dalam Pipa. *Gema Teknologi*. 16 (4): 183-185.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. PT Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Wang, R., Wan, G., Yan, Y., Sabeghi, M., Ming, Z., Allen, J.K., and Mistree, F. 2019. Ontology-Based Representation of Meta-Design in Designing Decision Workflows. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 19 (1): 1-19.