

**PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG  
SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN  
KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO<sub>4</sub>)**

**(Tesis)**

**Oleh**

**NURUL ROSADINAH  
NPM 2227011008**



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

## ABSTRAK

### PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN KERAK KALSIMUM SULFAT (CaSO<sub>4</sub>)

Oleh

NURUL ROSADINAH

Dalam industri minyak dan gas, masalah yang umum terjadi adalah pengendapan garam pada dinding peralatan aliran fluida, terutama pada permukaan perpindahan panas dan pada permukaan peralatan evaporasi. Pengendapan ini tidak diinginkan karena menyebabkan pembentukan kerak yang dapat mempengaruhi perpindahan panas serta mengurangi efisiensi dan menghambat proses aliran fluida.

Pada penelitian ini digunakan ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, dan asam etilen diamina tetra asetat (EDTA) sebagai inhibitor kalsium sulfat (CaSO<sub>4</sub>) dengan metode *unseeded experiment* dan *seeded experiment* pada suhu 90 °C dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,1 M serta variasi inhibitor 5, 15, 25, 35, dan 45%.

Nilai persentase efektivitas yang paling efektif pada metode *seeded experiment* dengan larutan pertumbuhan 0,050 M. Inhibitor ekstrak sabut sawit dengan konsentrasi 35% sebesar 62,187%, asap cair cangkang sawit konsentrasi 25% sebesar 54,624%, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit konsentrasi inhibitor 35% dan 25% sebesar 55,962%, dan EDTA konsentrasi inhibitor 5% sebesar 95,405%. Bentuk morfologi dengan analisis SEM penambahan inhibitor kristal CaSO<sub>4</sub> berbentuk pendek dan berukuran kecil. Fasa kristal dengan analisis XRD penambahan inhibitor menunjukkan fasa gipsum, basanit, dan anhidrat.

Kata kunci: asap cair cangkang sawit, CaSO<sub>4</sub>, EDTA, ekstrak sabut sawit, inhibitor.

## **ABSTRACT**

### **UTILIZATION OF PALM FIBER EXTRACT, LIQUID SMOKE OF PALM KERNEL SHELL, AND ITS MIXTURE AS AN INHIBITOR OF CALCIUM SULFATE (CaSO<sub>4</sub>) SCALE FORMATION**

**By**

**NURUL ROSADINAH**

In the oil and gas industry, a common problem is salt deposition on the walls of fluid flow processing equipment, especially on heat transfer surfaces and on the surfaces of evaporation equipment. This deposition is undesirable because it causes scale formation which can affect heat transfer as well as reduce efficiency and prevent flow in the process fluid. This research was used palm fiber extract, liquid smoke of palm kernel shell, mixture of palm fiber extract with liquid smoke of palm kernel shell, and ethylene diamine tetra acetic acid (EDTA) as inhibitor calcium sulfate (CaSO<sub>4</sub>) with methods unseeded experiment and seeded experiment at temperature of 90 °C with variations in the concentration of the growth solution 0.050; 0.075; and 0.1 M and variations in inhibitor 5, 15, 25, 35, dan 45%. The percentage value of effectiveness is most effective in the seeded experiment method with a growth solution of 0.050 M. The palm fiber extract inhibitor with a concentration of 35% was 62.187%, liquid smoke of palm kernel shell with a concentration of 25% was 54.624%, mixture of palm fiber extract with liquid smoke of palm kernel shell with an inhibitor concentration of 35% and 25% was 55.962%, and EDTA with an inhibitor concentration of 5% was 95.405%. The morphological form using SEM analysis of the addition inhibitor of the CaSO<sub>4</sub> crystal is short and small in size. The CaSO<sub>4</sub> crystal phase with XRD analysis of the addition of inhibitors shows gypsum, basanite, and anhydrate phases.

**Key words:** liquid smoke of palm kernel shell, CaSO<sub>4</sub>, palm fiber extract, EDTA, inhibitor.

**PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG  
SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN  
KERAK KALSIMUM SULFAT (CaSO<sub>4</sub>)**

**Oleh**

**NURUL ROSADINAH**

**Tesis**

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

**Pada**

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



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

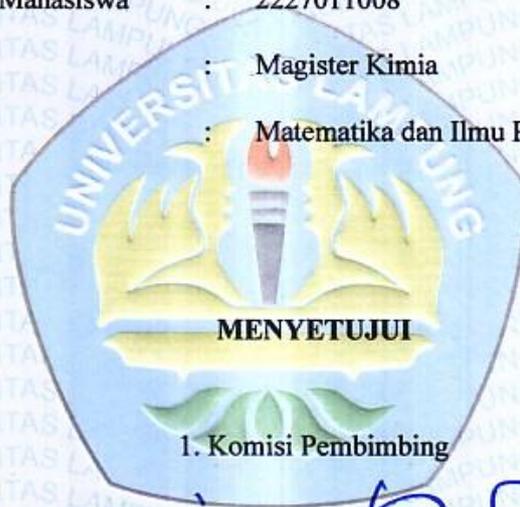
Judul Tesis : **PEMANFAATAN EKSTRAK SABUT SAWIT, ASAP CAIR CANGKANG SAWIT, DAN CAMPURANNYA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO<sub>4</sub>)**

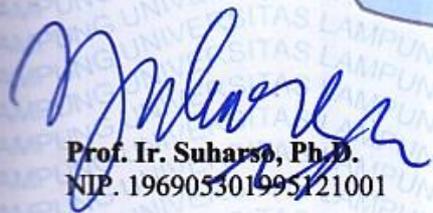
Nama Mahasiswa : **Nurul Rosadinah**

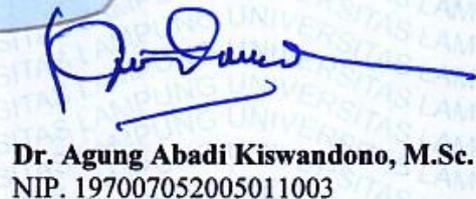
Nomor Pokok Mahasiswa : **2227011008**

Jurusan : **Magister Kimia**

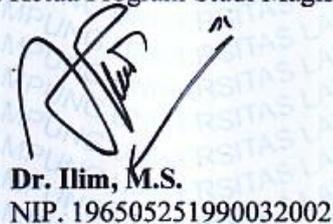
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

  
**Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**  
NIP. 197007052005011003

2. Ketua Program Studi Magister Kimia

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

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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

**Sekretaris : Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.**

**Penguji Bukan Pembimbing**

**Anggota : Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D.**

**Anggota : Dr. Dian Herasari, M.Si.**

**Anggota : Dr. Ilim, M.S.**

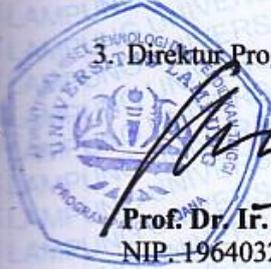


**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



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

**3. Direktur Program Pascasarjana**



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

**Tanggal Lulus Ujian Tesis : 20 November 2024**

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nurul Rosadinah  
Nomor Pokok Mahasiswa : 2227011008  
Program Studi : Magister Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis saya yang berjudul "Pemanfaatan Ekstrak Sabut Sawit, Asap Cair Cangkang Sawit, dan Campurannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ )" adalah benar karya sendiri dan tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam tesis tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 20 November 2024

Menyatakan

  
Nurul Rosadinah  
NPM. 2227011008

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis bernama lengkap Nurul Rosadinah dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada tanggal 28 Desember 1999. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Musa, S.Si dan Ibu Tuti Mulyati.

Penulis menyelesaikan pendidikan di TK Aisyiah Bustanul Atfhal Kelapa Tiga pada tahun 2005, lalu melanjutkan pendidikan di SD Negeri 4 Sukajawa pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 7 Bandar Lampung pada tahun 2011. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMA Al-Azhar 3 Bandar Lampung pada tahun 2014. Pada tahun 2017 penulis terdaftar menjadi mahasiswa di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan memperoleh gelar Sarjana Sains pada tahun 2021.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar menjadi mahasiswa Magister Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Saat ini, penulis berprofesi sebagai laboran di SMA Negeri 16 Bandar Lampung sejak tahun 2023.

## **MOTTO**

“Keberhasilan bukan milik orang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha” (B.ḏ. Habibie)

*“Ilmu itu lebih baik dari kekayaan, karena kekayaan itu harus dijaga. Sedangkan ilmu menjaga kamu”. (Ali bin Abi Thalib)*

*“Jangan terlalu memikirkan masa depan. Pikirkan saja apa yang harus kau lakukan di masa sekarang untuk masa depanmu”.*

*(Doraemon)*

*“Jangan takut untuk berproses, jalani saja sampai menemukan titik terang”.*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Alhamdulillahilahi rabbil 'alamin**

**Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang ku persembahkan kepada:**

**Kedua orangtuaku. Dengan mereka, penulis bisa menyelesaikan tesis dengan lancar dan berkah. Terimakasih karena telah mendoakan, menyemangati, menolong, dan memberi kasih sayang tiada hentinya.**

Dengan rasa hormat saya, Prof., Ir. Suharso, Ph.D., Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D., Dr. Dian Herasari, M.Si., Dr. Ilim, M.S., serta bapak ibu dosen Jurusan Kimia atas ilmu yang diberikan.

**Sahabat dan teman-temanku semua yang telah memberikan bantuan, semangat, dan kehabagiaan kepada penulis.**

**Serta almamterku tercinta**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pemanfaatan Ekstrak Sabut Sawit, Asap Cair Cangkang Sawit, dan Campurannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO<sub>4</sub>)”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Universitas Lampung.

Selama proses penyusunan tesis ini, penulis mendapatkan doa, dukungan, semangat, dan motivasi dari berbagai pihak. Dengan rasa hormat dan tulus dari hati yang paling dalam, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yaitu Abi dan Ibu sudah menghantarkan Nurul sampai menjadi magister dan membiayai pendidikan sampai magister. Dengan penuh rasa cinta dan kasih sayang dicurahkan untuk mendoakan, menyemangati, membantu, menjadi tempat curhat dan berkeluh kesah, serta memberi kebahagiaan. Nurul mengucapkan terimakasih kepada Abi dan Ibu untuk segalanya. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi, memberkahi, serta memberikan rezeki dan kesehatan kepada Abi dan Ibu, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
2. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan pembimbing akademik (PA) sudah memberikan dedikasi selama penulis menjadi mahasiswa. Penulis berterima kasih banyak karena Bapak telah memudahkan, melancarkan, membimbing, peduli, dan menjadi tempat berdiskusi dalam proses pengerjaan tesis. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan Bapak, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.

3. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc. selaku dosen pembimbing II. Penulis berterima kasih banyak karena Bapak telah memudahkan, melancarkan, dan membimbing dalam proses pengerjaan tesis, serta memberi nasihat. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan Bapak, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
4. Bapak Prof. Sutopo Hadi, M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji. Penulis berterima kasih banyak karena Bapak telah memudahkan, melancarkan, memberi saran dalam penyusunan tesis. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan Bapak, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
5. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si. selaku dosen penguji. Penulis berterima kasih banyak karena Ibu sudah telah melancarkan, memberi kritik dan saran dalam penyusunan tesis. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan Ibu, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
6. Ibu Dr. Ilim, M.S. selaku dosen penguji dan Ketua Program Studi Magister Kimia. Penulis berterima kasih banyak karena Ibu sudah telah melancarkan, memberi kritik dan saran dalam penyusunan tesis, serta memudahkan proses administrasi. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan Ibu, Aamiin yaa rabbal 'aalamiin.
7. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si. selaku dekan FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas ilmu yang diberikan selama ini.
10. Sahabat seperbimbinganku yaitu Mba Chyntia Gustiyanda P. Terima kasih karena udah mau berjuang bersama, memberi bantuan, tempat bercerita, dan sekaligus menjadi kakak atau bundaku selama ini. Love U mbaku..

11. Sahabat trip aku yaitu Mba Kartika Dewi R. dan Pinkan Valencia. Terima kasih karena kalian sudah kebersamaan selama perkuliahan, tempat bercerita, dan memberi bantuan. Aku sayang kalian.
12. Sahabat seangkatan Magister Kimia tahun 2022 yaitu Innamaa, Mba Ella, Siti Aisah, Mba Qudwah, Kak Stevenson, dan Kak Santalum Alba. Terima kasih atas motivasi, dukungan, dan keceriaan selama ini. Semoga kita semua sukses.
13. Sahabat ku selama S1 yaitu Najma, Saras, Alya, Arifa, Nurbaiti, Dewi, dan Jeremia. Terima kasih atas segala doa kalian, dukungan, dan tempat bercerita aku selama ini. Miss you so much.
14. Keluarga besar SMA Negeri 16 Bandar Lampung karena telah memberikan saya kesempatan menimba ilmu dan memberikan ruang bagi saya untuk menyelesaikan studi.
15. Murid didikanku, yaitu siswa ekskul KIR. Ibu mengucapkan terima kasih karena kalian sudah membantu, mendoakan, dan bersemangat atas gelar ini.
16. Segala pihak yang terlibat dalam penyusunan tesis yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

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

Bandar Lampung, November 2024

**Nurul Rosadinah**

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
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 Mekanisme Pembentukan Kerak.....	9
2.4 Kalsium Sulfat.....	13
2.5 Metode Pencegahan Pembentukan Kerak .....	13
1. Pengendalian pH .....	13
2. Peningkatan Kondisi Operasi Alat Penukar Panas .....	14
3. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air .....	14
4. Inhibitor Kerak.....	15
2.6 Buah Kelapa Sawit .....	17
2.7 Ekstrak Sabut Sawit.....	20
2.8 Cangkang Kelapa Sawit .....	23
2.9 Asap Cair Cangkang Sawit.....	25
2.10 Asam Etilen Diamin Tetra Asetat (EDTA) .....	28
2.11 Metode <i>Seeded</i> dan <i>Unseeded Experiment</i> .....	30
2.12 Analisis dan Karakterisasi Kerak Kalsium Sulfat (CaSO <sub>4</sub> ).....	30
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	39
3.2 Bahan dan Alat .....	39

3.3	Prosedur Penelitian .....	40
3.3.1	Pembuatan Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit .....	40
3.3.2	Pembuatan Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit .....	41
3.3.3	Pembuatan Inhibitor EDTA .....	41
3.3.4	Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dan Asap Cair Cangkang Sawit.....	42
3.3.5	Pembuatan Bibit Kristal .....	42
3.3.6	Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ .....	43
3.3.7	Analisis Data .....	46
3.3.8	Diagram Alir Penelitian .....	47
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>51</b>
4.1	Analisis Gugus Fungsi Ekstrak Sabut Sawit Menggunakan Spektrofotometer <i>Infrared</i> (IR) .....	51
4.2	Analisis Gugus Fungsi Asap Cair Cangkang Sawit Menggunakan Spektrofotometer <i>Infrared</i> (IR).....	53
4.3	Analisis Komponen Senyawa Kimia Ekstrak Sabut Sawit Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	54
4.4	Analisis Komponen Senyawa Kimia Asap Cair Cangkang Sawit Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....	57
4.5	Kualitas Cangkang Kelapa Sawit .....	59
4.6	Waktu Simpan Larutan Inhibitor.....	60
4.7	Perbandingan Efektivitas Inhibitor.....	61
4.8	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda .	65
1.	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	66
2.	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit pada Larutan Pertumbuhan 0,050, 0,075, dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	70
4.9	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Penambahan Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda.....	73
1.	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	75
2.	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal $\text{CaSO}_4$ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	78

4.10 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO <sub>4</sub> dengan Penambahan Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dengan Asap Cair Cangkang Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda .....	81
1. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO <sub>4</sub> dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dengan Asap Cair Cangkang Sawit pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	83
2. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO <sub>4</sub> dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dengan Asap Cair Cangkang Sawit pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	86
4.11 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO <sub>4</sub> dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor EDTA pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	89
1. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO <sub>4</sub> dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor EDTA pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	90
2. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO <sub>4</sub> dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor EDTA pada Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	93
4.12 Analisis Morfologi Kristal CaSO <sub>4</sub> Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	96
4.13 Analisis Distribusi Ukuran Partikel CaSO <sub>4</sub> dengan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	98
4.14 Analisis Struktur Kristal CaSO <sub>4</sub> Menggunakan <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) ...	101
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>103</b>
5.1 Simpulan.....	103
5.2 Saran .....	104
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>105</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>114</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit.....	42
2. Gugus Fungsi Ekstrak Sabut Sawit pada Hasil Analisis <i>Infrared</i> (IR).....	52
3. Gugus Fungsi Asap Cair Cangkang Sawit pada Hasil Analisis <i>Infrared</i> (IR).....	54
4. Komponen-komponen kimia ekstrak sabut sawit. ....	56
5. Komponen-komponen kimia asap cair cangkang sawit.....	58
6. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	65
7. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	66
8. Data Persentase Efektivitas Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	69
9. Data Persentase Efektivitas Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	72
10. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	74
11. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> . 74	74

12. Data Persentase Efektivitas Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	77
13. Data Persentase Efektivitas Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	80
14. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dengan Asap Cair Cangkang Sawit serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	81
15. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dengan Asap Cair Cangkang Sawit serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	82
16. Data Persentase Efektivitas Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dengan Asap Cair Cangkang Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	85
17. Data Persentase Efektivitas Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dengan Asap Cair Cangkang Sawit pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	88
18. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor EDTA serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....	90
19. Nilai pH pada Variasi Konsentrasi Inhibitor EDTA serta Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	90
20. Data Persentase Efektivitas Inhibitor EDTA pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .	93
21. Data Persentase Efektivitas Inhibitor EDTA pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan 0,050; 0,075; dan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	95

**DAFTAR GAMBAR**

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. Endapan kerak pada pipa .....	9
2. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan .....	11
3. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air .....	12
4. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan .....	17
5. Penampang buah kelapa sawit .....	19
6. Cangkang kelapa sawit.....	23
7. Macam-macam tingkatan ( <i>grade</i> ) asap cair .....	26
8. Representasi molekul pengkhelat EDTA .....	29
9. Blok diagram SEM.....	32
10. Skema cara kerja XRD.....	33
11. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf.....	35
12. Skema cara kerja GC-MS .....	37
13. Cara kerja <i>Infrared</i> (IR) .....	38
14. Diagram alir penelitian dengan inhibitor ekstrak sabut sawit .....	47
15. Diagram alir penelitian dengan inhibitor asap cair cangkang sawit .....	48

16. Diagram alir penelitian dengan inhibitor campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit.....	49
17. Diagram alir penelitian dengan inhibitor EDTA.....	50
18. Spektrum <i>Infrared</i> (IR) ekstrak sabut sawit.....	51
19. Spektrum <i>Infrared</i> (IR) asap cair cangkang sawit .....	53
20. Kromatogram analisis GC-MS ekstrak sabut sawit. ....	55
21. Kromatogram analisis GC-MS asap cair cangkang sawit.....	57
22. Perubahan ekstrak sabut sawit (a) tanpa penambahan asap cair cangkang sawit dan (b) dengan penambahan asap cair cangkang sawit setelah didiamkan selama 2 minggu .....	61
23. Perbandingan efektivitas larutan $\text{CaSO}_4$ konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M (a) tanpa inhibitor (b) ekstrak sabut sawit konsentrasi 25% (c) asap cair cangkang sawit konsentrasi 35% (d) campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit konsentrasi 35% dan 25% (e) EDTA konsentrasi 5%.....	62
24. Perbandingan efektivitas larutan $\text{CaSO}_4$ konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M (a) tanpa inhibitor (b) ekstrak sabut sawit konsentrasi 25% (c) asap cair cangkang sawit konsentrasi 35% (d) campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit konsentrasi 35% dan 25% (e) EDTA konsentrasi 5%.....	63
25. Perbandingan efektivitas larutan $\text{CaSO}_4$ konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M (a) tanpa inhibitor (b) ekstrak sabut sawit konsentrasi 25% (c) asap cair cangkang sawit konsentrasi 35% (d) campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit konsentrasi 35% dan 25% (e) EDTA konsentrasi 5%.....	64
26. Grafik laju pertumbuhan $\text{CaSO}_4$ dengan menggunakan inhibitor ekstrak sabut sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode <i>unseeded experiment</i> .....	67
27. Grafik laju pertumbuhan $\text{CaSO}_4$ dengan menggunakan inhibitor ekstrak sabut sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode <i>unseeded experiment</i> .....	67
28. Grafik laju pertumbuhan $\text{CaSO}_4$ dengan menggunakan inhibitor ekstrak sabut sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode <i>unseeded experiment</i> .....	68

29. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor ekstrak sabut sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode *seeded experiment* ..... 70
30. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor ekstrak sabut sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode *seeded experiment* ..... 71
31. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor ekstrak sabut sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode *seeded experiment* ..... 71
32. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 75
33. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 76
34. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 76
35. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode *seeded experiment* ..... 78
36. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode *seeded experiment* ..... 79
37. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode *seeded experiment* ..... 79
38. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor campuran ekstrak sawit dengan asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 83
39. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor campuran ekstrak sawit dengan asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 84

40. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor campuran ekstrak sawit dengan asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 84
41. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor campuran ekstrak sawit dengan asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode *seeded experiment* ..... 86
42. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor campuran ekstrak sawit dengan asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode *seeded experiment* ..... 87
43. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor campuran ekstrak sawit dengan asap cair cangkang sawit pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode *seeded experiment* ..... 87
44. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor EDTA pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 91
45. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor EDTA pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode *unseeded experiment* ..... 91
46. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor EDTA pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode *unseeded experiment*. 92
47. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor EDTA pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan metode *seeded experiment*... 93
48. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor EDTA pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,075 M dengan metode *seeded experiment*... 94
49. Grafik laju pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan menggunakan inhibitor EDTA pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M dengan metode *seeded experiment*..... 94
50. Morfologi kerak  $\text{CaSO}_4$  pada konsentrasi 0,050 M dengan metode *seeded experiment* pada pembesaran 5.000 $\times$  (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor ekstrak sabut sawit dengan konsentrasi 35% (c) asap cair cangkang sawit dengan konsentrasi 25% (d) campuran ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit dengan konsentrasi 35% dan 25% ..... 97
51. Grafik distribusi ukuran partikel  $\text{CaSO}_4$  pada konsentrasi 0,050 M dengan metode *seeded experiment* ..... 99

52. Pola XRD kerak CaSO <sub>4</sub> tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor dengan metode <i>seeded experiment</i> .....	101
--	-----

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagian besar proses industri menghadapi masalah yang cukup signifikan yaitu pengendapan garam pada dinding peralatan pengolahan aliran fluida, terutama pada permukaan perpindahan panas dan pada permukaan peralatan evaporasi. Pengendapan ini tidak diharapkan karena endapan menyebabkan pembentukan kerak yang dapat mempengaruhi perpindahan panas serta mengurangi efisiensi dan mencegah aliran dalam proses fluida. Selain itu, kerak yang menumpuk pada saluran pipa, lubang, dan beberapa bagian aliran selama proses aliran fluida dapat menyebabkan masalah operasional yang serius, karena kerak ini dapat menyebabkan korosi dan kerusakan pada peralatan proses produksi. Oleh karena itu, biaya dan kerugian yang ditimbulkan sangat tinggi, karena sebagian besar biaya perawatan peralatan dihabiskan untuk mengganti atau memperbaiki komponen yang rusak akibat kerak.

Pengerakan juga dikenal sebagai *scaling*, adalah pengganggu pada membran yang terjadi karena presipitasi garam-garam anorganik yang melapisi membran. Ini dapat mempengaruhi kemampuan membran untuk melewatkan ion-ion (Mulyati *et al.*, 2012). Terbentuknya kerak anorganik disebabkan oleh adanya ion mineral kalsinasi yang bereaksi satu sama lain membentuk kristal dalam jumlah yang melebihi kelarutannya dalam keadaan kesetimbangan produk. Ini karena sumber airnya banyak mengandung ion mineral. Ion mineral kerak anorganik meliputi ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), ion magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), ion natrium ( $\text{Na}^+$ ), ion kalium ( $\text{K}^+$ ), ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ), ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ion fosfat ( $\text{PO}_3^{4-}$ ) (Amor, 2013).

Pembentukan kerak dapat dicegah dengan mengatur nilai pH dengan injeksi asam seperti asam sulfat atau asam klorida (Suharso dan Buhani, 2012). Pendapat ini sejalan dengan Suharso dkk. (2013) yang melaporkan endapan kerak di industri dapat dicegah dengan metode tersebut dengan menurunkan pH larutan dengan menambahkan asam dan menggunakan senyawa anorganik. Namun berdasarkan penelitian Lestari (2008), penggunaan asam sebagai pencegahan pembentukan kerak juga tidak efektif dalam konsentrasi tinggi karena dapat meningkatkan kecepatan korosi dan konduktivitas, serta memiliki tingkat bahaya yang cukup tinggi. Usaha lain yang digunakan Halimatuddahlia (2003) untuk mencegah terbentuknya kerak dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air, kelemahan metode ini adalah membutuhkan biaya yang besar.

Sebuah metode dikembangkan berdasarkan beberapa kelemahan tersebut yang dapat digunakan untuk mencegah atau mengendalikan masalah pembentukan kerak yaitu dengan menambahkan inhibitor. Salah satu cara yang digunakan untuk menghambat pembentukan kerak dengan menambahkan zat penghambat (inhibitor) pada kerak. Inhibitor merupakan zat yang digunakan untuk mengontrol pertumbuhan kerak dengan tujuan mengurangi, mencegah, atau menunda pembentukan kerak. Jenis-jenis inhibitor yang sering digunakan adalah senyawa asam lemah (asam karboksilat) dan ion logam. Contoh asam lemah (asam karboksilat) yang digunakan sebagai inhibitor antara lain asam sitrat, asam tartarat, dan asam malat sedangkan ion logam yang digunakan sebagai inhibitor adalah ion tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) (Rabizadeh *et al.*, 2014). Pemilihan inhibitor yang tepat dapat memberikan pengurangan yang murah dan efektif dalam pembentukan kerak karena konsentrasi yang rendah dapat berdampak besar pada pertumbuhan kristal.

Provinsi Lampung mempunyai perkebunan kelapa sawit yang luas. Menurut Dinas Pertanian Provinsi Lampung 111.524 Ha pada tahun 2022 dan menghasilkan 206.951 ton pada tahun 2022. Saat kelapa sawit berbuah, tidak semua buah kelapa sawit bisa dipanen karena saat kelapa sawit berbuah banyak yang jatuh ke tanah. Pada saat pasca panen buah kelapa sawit, banyak buah kelapa sawit yang rontok dari tandan

karena buah kelapa sawit matang. Umumnya, buah kelapa sawit yang jatuh ke tanah ini dibuang oleh petani sehingga menghasilkan limbah. Sampai saat ini limbah padat dari kelapa sawit banyak yang dibuang atau dibiarkan begitu saja terurai di kebun sebagai pupuk organik tanaman kelapa sawit, namun siklus penguraiannya memakan waktu lama, memakan tempat dan mencemari lingkungan akibat bau busuk yang dihasilkan selama proses penguraian oleh mikroba. Sabut sawit mengandung gugus hidroksi, asam karboksilat, dan alkena sehingga dapat dipakai sebagai inhibitor pembentukan kerak.

Bahan baku yang banyak digunakan untuk pembuatan asap cair adalah berbagai jenis kayu, bongkol kelapa sawit, tempurung kelapa, sekam, ampas atau serbuk gergaji kayu, dan lain sebagainya (Darmadji, 2002). Oleh karena itu, pengembangan asap cair cangkang sawit sebagai inhibitor pembentukan kerak menarik untuk dikembangkan. Asap cair cangkang sawit mengandung senyawa asam asetat, fenolik, dan aseton (Fauziati dan Sampepana, 2016).

Molekul organik atau anorganik dengan sifat pengkhelat digunakan sebagai inhibitor untuk mencegah kerak seperti termasuk *ethylene diamine tetra acetic acid* (EDTA), *diethylene triamine penta acetic acid* (DTPA), *ethylene diamine tetra methylene phosphonic acid* (EDTMP), *amino trimethylene phosphonic acid* (ATMP), dan *1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid* (HEDP) (Khormali and Petrakov, 2016). Fungsi agen pengkelat adalah untuk mencegah pembentukan kerak. Bagian anion dari inhibitor bergabung dengan bagian kation, misalnya ion logam dalam larutan menghasilkan pembentukan ikatan koordinasi dengan kation dari kerak (Kumar *et al.*, 2018). Sebagai khelat yang khas, EDTA adalah sejenis ligan khelasi dengan afinitas tinggi yang dapat membentuk kompleks logam–EDTA (Mpelwa *and* Tang 2019; Kan *et al.*, 2020).

Pada penelitian ini digunakan ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, dan campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit sebagai inhibitor untuk menghambat pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$ . Pada penelitian ini digunakan EDTA

sebagai inhibitor komersial pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$ . Pada penelitian ini mempelajari efektivitas ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, dan EDTA sebagai inhibitor pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Untuk mengetahui keefektifan dari masing-masing inhibitor tersebut, dilakukan analisis morfologi kerak  $\text{CaSO}_4$  menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-ray Diffraction* (XRD), serta untuk mengetahui distribusi ukuran partikelnya akan diukur menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui keefektifan ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak buah sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, dan EDTA dalam menghambat pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ).
2. Untuk mempelajari ukuran dan bentuk fasa kristal beserta perubahannya.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, dan EDTA dalam menghambat pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), terutama untuk mencegah pembentukan kerak pada peralatan industri.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengendapan Senyawa Anorganik

Endapan didefinisikan sebagai bentuk kristal keras yang sebagai bentuk kristal keras yang melekat pada permukaan yang dapat dihilangkan dengan pengeboran atau metode penghancuran lainnya. Endapan dari larutan akan terbentuk karena penurunan kelarutan pada kenaikan temperatur operasi dan kristal padat menempel pada permukaan logam. Endapan yang umum ditemui di pipa minyak ada beberapa jenis, seperti kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), dan barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) (Asnawati, 2001). Partikel kristal mempunyai kecenderungan untuk membentuk endapan kerak antara lain adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), gipsum atau kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), dan barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ). Endapan kerak yang lain adalah stronsium sulfat ( $\text{SrSO}_4$ ) dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang biasa terbentuk pada peralatan pemanas, yaitu *boilers* dan *heater*, serta kerak dengan komponen besi, seperti *iron carbonate* ( $\text{FeCO}_3$ ), *iron sulfide* ( $\text{FeS}$ ), dan *iron oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Basim *et al.*, 2012)

Pelarutan ion dalam air sadah merupakan fungsi dari tekanan, suhu, dan waktu kontak antara air dan media pembentuk. Air memiliki keterbatasan kelarutan senyawa yang terbentuk dari ion mineral, sehingga pada kondisi tekanan dan suhu yang melebihi nilai kelarutan tertentu, senyawa tersebut tidak akan larut lagi melainkan akan terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padatan. Selama proses produksi, terjadi perubahan kelarutan dengan penurunan tekanan dan perubahan suhu selama produksi. Perubahan kelarutan setiap zat terlarut yang larut dalam air formasi akan mengganggu kesetimbangan dalam air sadah, sehingga akan terjadi reaksi kimia antara ion positif

(kation) dan ion negatif (anion) dengan membentuk senyawa endapan yang berupa kerak (Mariana *et al.*, 2014).

Proses pengendapan senyawa-senyawa anorganik biasa terjadi pada peralatan-peralatan industri yang melibatkan air garam seperti industri minyak dan gas, proses desalinasi dan ketel serta industri kimia. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur anorganik pembentuk kerak seperti ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Terakumulasinya endapan-endapan dari senyawa anorganik tersebut dapat menimbulkan masalah seperti kerak (Weijnen *et al.*, 1983; Maley, 1999).

Proses pengendapan terjadi melalui 3 tahap, yaitu :

#### 1. Nukleasi

Nukleasi terjadi akibat penggabungan molekul-molekul zat terlarut yang dapat membentuk *clusters* kemudian tumbuh menjadi sutau kristal. Larutan lewat jenuh dapat terjadi penambahan zat terlarut sehingga mendifusi ke *clusters* dan kristal-kristal tumbuh menjadi lebih stabil. Semakin besar ukuran kristal akan membuat kelarutan menjadi lebih kecil, dan sebaliknya apabila ukuran kristal kecil maka kelarutan menjadi lebih besar (Tijing *et al.*, 2011)

#### 2. Pertumbuhan Kristal

Kristal terbentuk dari lapisan ion komponen endapan pada permukaan inti karena pada pengolahan air yang melibatkan proses pengendapan sering tidak mencapai kesetimbangan.

### 3. Aglomerasi

Padatan yang awalnya terbentuk dengan pengendapan, kemungkinan bukan padatan yang paling stabil (secara termodinamika) untuk berbagai kondisi reaksi. Jika demikian selama jangka waktu tertentu struktur kristal endapan dapat berubah menjadi fasa stabil. Perubahan ini disertai penambahan endapan dan pengurangan konsentrasi larutan, sebab fasa yang stabil biasanya mempunyai kelarutan yang lebih kecil dari fasa yang dibentuk sebelumnya. Pematangan juga terjadi pada ukuran kristal endapan yang bertambah sebab partikel yang lebih kecil memiliki energi permukaan yang besar dari pada partikel yang besar, konsentrasi larutan dalam kesetimbangan untuk partikel yang lebih tinggi sebanding untuk partikel yang lebih besar. Akibatnya, pada ukuran partikel yang beragam partikel yang lebih besar terus bertambah, sebab larutan masih dalam keadaan lewat jenuh. Partikel yang lebih kecil melarut, sebab konsentrasi larutan sekarang belum diketahui harga jenuhnya (Lestari dkk., 2004).

### 2.2 Kerak

Kerak itu adalah lapisan oksida yang terbentuk akibat cuaca/lingkungan alam pada permukaan besi atau baja (Kennedy *et al.*, 2012). Pengerakan, juga dikenal sebagai *scaling*, adalah pengganggu pada membran yang terjadi karena presipitasi garam-garam anorganik yang melapisi membran. Ini dapat mempengaruhi kemampuan membran untuk melewatkan ion-ion. (Mulyati *et al.*, 2012). Kerak terbentuk ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan yang disebut dengan waktu induksi. Terbentuknya kerak anorganik disebabkan oleh terdapatnya ion-ion mineral pembentuk kerak yang saling bereaksi membentuk kristal dalam jumlah yang melebihi hasil kali kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Hal ini terjadi karena sumber air memiliki banyak kandungan ion mineral. Ion mineral kerak anorganik meliputi ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), ion magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), ion

natrium ( $\text{Na}^+$ ), ion kalium ( $\text{K}^+$ ), ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ), ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ion fosfat ( $\text{PO}_3^{4-}$ ) (Amor, 2013).

Faktor yang mempengaruhi terbentuknya kerak antara lain temperatur, konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$ , dan inhibitor. Peningkatan temperatur akan memperpendek periode induksi karena meningkatkan frekuensi tumbukan ion mineral dalam larutan. Faktor lain adalah konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  akan memperbanyak jumlah ion mineral dalam larutan sehingga jumlah tumbukan antar ion mineral pembentuk kerak akan semakin banyak. Peningkatan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  akan memperbanyak jumlah ion mineral dalam larutan sehingga jumlah tumbukan antar ion mineral pembentuk kerak akan semakin banyak.

Faktor utama berpengaruh terhadap pembentukan, pertumbuhan, serta pengendapan kerak antara lain adalah perubahan kondisi *reservoir*, penurunan tekanan *reservoir* dan perubahan temperatur, pencampuran dua jenis air yang mempunyai susunan mineral tidak sesuai, adanya supersaturasi, penguapan akibat dari perubahan konsentrasi, pengadukan (agitasi, pengaruh dari turbulensi), waktu kontak antara kerak dengan permukaan pipa, serta perubahan pH air (Antony *et al.*, 2011).

Mekanisme pembentukan endapan kerak berkaitan erat dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{3+}$ , dan  $\text{Fe}^{3+}$ ) maupun anion ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terbentuknya kristal. Kelarutan didefinisikan sebagai batas suatu zat yang dapat dilarutkan dalam zat pelarut pada kondisi fisik tertentu. Proses terlarutnya ion-ion dalam air sadah merupakan fungsi dari tekanan, temperatur serta waktu kontak antara air dengan media pembentukan (Kennedy dkk., 2012).



**Gambar 1.** Endapan kerak pada pipa (Vendamawan, 2016).

Konsentrasi menyatakan pengaruh kepekatan atau zat yang berperan dalam proses reaksi. Semakin besar nilai konsentrasi, maka nilai laju reaksi akan semakin besar pula. 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  $\text{Ca}^{2+}$  dalam air maka tingkat kecenderungan terbentuknya kerak akan semakin besar. Pengaruh tersebut dapat terjadi karena kenaikan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam air akan menyebabkan adanya jumlah tumbukan antara ion-ion dalam larutan akan semakin banyak sehingga reaksi akan bergeser ke arah hasil reaksi dan jumlah yang terbentuk semakin banyak (Basim *et al.*, 2015).

### 2.3 Mekanisme Pembentukan Kerak

Mekanisme pembentukan kerak dapat digolongkan menjadi tiga tahap, yaitu sebagai berikut (Han *et al.*, 2005):

#### 1. Tahap pembentukan inti kristal

Pada tahap pembentukan inti kristal ion-ion yang berada dalam suatu fluida akan mengalami reaksi kimia untuk membentuk inti kristal. Inti kristal yang terbentuk

sangat halus tidak akan mengendap dalam proses aliran. Proses inisiasi dapat diamati dengan menurunnya nilai konduktivitas secara signifikan. Waktu pertama kali nilai konduktivitas disebut waktu induksi.

## 2. Tahap Pertumbuhan Inti

Pada tahap pertumbuhan inti kristal akan menarik molekul-molekul yang lain, sehingga inti kristal akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar, dengan diameter 0,001-0,1 $\mu$  (ukuran koloid), selanjutnya inti kristal akan tumbuh lebih besar lagi sampai diameter 0,1-10  $\mu$  (kristal halus). Kemudian kristal akan mulai mengendap saat pertumbuhannya mencapai diameter > 10  $\mu$  (kristal kasar).

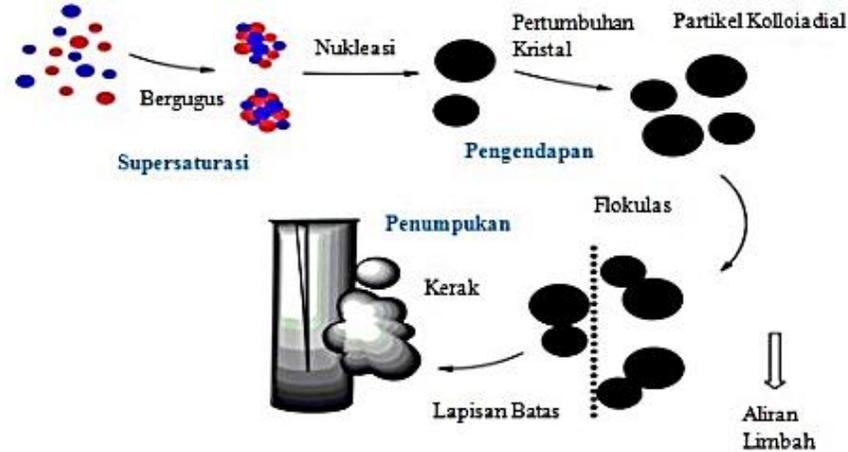
## 3. Tahap Pengendapan Kristal ke Permukaan

Kecepatan pertumbuhan kristal dipengaruhi oleh ukuran dan berat jenis kristal yang membesar pada tahap sebelumnya. Selain itu proses pembentukan juga dipengaruhi oleh aliran fluida pembawa, dimana kristal akan mengendap apabila kecepatan pengendapan lebih besar dari kecepatan aliran fluida. Berdasarkan metode pembentukannya, pembentukan kristal dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu secara homogen (*homogeneous nucleation*) dan heterogen (*heterogeneous nucleation*).

Pada prinsipnya, baik dalam nukleasi homogen atau heterogen, kerak terbentuk dalam 3 tahap:

1. Ion dalam larutan konsentrat melalui supersaturasi. Ion-ion mulai bergugus/berkelompok dalam reaksi yang bersifat reversibel sebagai proto-inti yang mencapai hingga 1000 atom.
2. Ketika protonuklei tumbuh, ion mulai menyusun dirinya sendiri dan inti yang berbentuk reguler berkembang. Tahap ini juga bersifat reversibel sampai dengan 3 Å, tetapi ketika inti tumbuh, sifat reversibel ini menjadi kurang memungkinkan.
3. Tahap akhir adalah pertumbuhan permanen menjadi kristal mulai dari inti hingga berukuran 0,3 mm (ukuran kritis yang didorong oleh supersaturasi), yang juga

dapat bertumpuk pada permukaan perpindahan panas dan disebut sebagai nukleasi heterogen ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan (Addicott *et al.*, 1987).

Pada dasarnya pembentukan kerak terjadi dalam suatu aliran yang bersifat garam jika mengalami penurunan tekanan secara tiba-tiba, maka aliran tersebut menjadi lewat jenuh dan menyebabkan terbentuknya endapan garam yang menumpuk pada dinding-dinding peralatan proses industri. Prinsip mekanisme pembentukan kerak, yaitu:

1. Campuran dua air garam yang tidak sesuai (umumnya air formasi mengandung banyak kation seperti kalsium, barium, dan stronsium, bercampur dengan sulfat yang banyak terdapat dalam air laut, menghasilkan kerak sulfat seperti  $\text{CaSO}_4$ ). Adapun persamaan reaksi ditulis dalam Persamaan 1 :

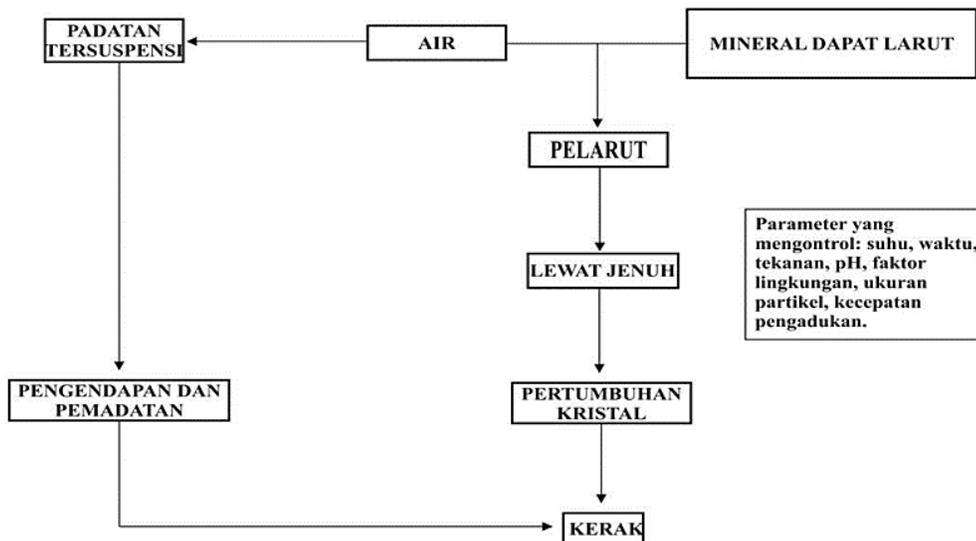


2. Penurunan tekanan dan kenaikan temperatur air garam, yang akan menurunkan kelarutan garam (umumnya mineral yang paling banyak mengendap adalah kerak karbonat seperti  $\text{CaCO}_3$ ). Adapun persamaan reaksi dapat ditulis dalam Persamaan 2:



3. Penguapan air garam, menghasilkan peningkatan konsentrasi garam melebihi batas kelarutan dan membentuk endapan garam (Amjad, 1995).

Pembentukan kerak dan deposit endapan lain adalah proses kristalisasi yang kompleks. Pada saat larutan menjadi lewat jenuh dan nukleasi terjadi, kondisi ini sangat cocok dan ideal untuk pertumbuhan kristal partikel kerak. Senyawa-senyawa yang dibawa air seperti kalsium sulfat, magnesium sulfat, barium sulfat, magnesium karbonat, kalsium karbonat, silikat, dan lain-lain dapat mengendap dan membentuk kerak sebagai akibat dari beda tekanan, perubahan temperatur, perubahan pH, dan lain-lain. Skema mekanisme pembentukan kerak dapat dilihat pada Gambar 3.

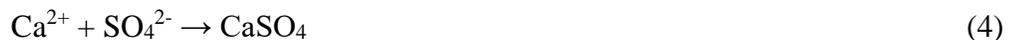
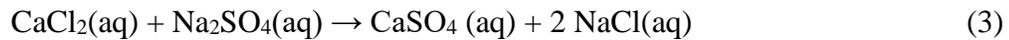


**Gambar 3.** Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air (Salimin dan Gunandjar, 2007).

## 2.4 Kalsium Sulfat

Kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) adalah salah satu komponen dari kerak yang biasa ditemui dalam minyak dan industri lainnya (Amjad *and* Koutsoukos, 2014). Kerak kalsium sulfat melekat keras serta tidak larut dalam asam mineral dan beberapa pelarut umum lain. Kerak kalsium sulfat adalah hasil kristalisasi langsung *gypsum* ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hemihidrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) dan anhidrat ( $\text{CaSO}_4$ ) dari air laut, ketika batas kelarutan terlampaui. Hemihidrat ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) adalah metastabil dan diendapkan ketika air diuapkan pada temperatur di atas  $100^\circ\text{C}$ .  $\text{CaSO}_4$  anhidrat stabil terbentuk di atas suhu  $42^\circ\text{C}$  dan nukleasi dari anhidrat tidak spontan.  $\text{CaSO}_4$  *gypsum* stabil terbentuk di bawah suhu  $42^\circ\text{C}$ .  $\text{CaSO}_4$  hemihidrat lebih stabil daripada *gypsum* tetapi kurang stabil dari anhidrat di atas suhu  $98^\circ\text{C}$ . Pertama kali, hemihidrat akan terbentuk dan selanjutnya ditransformasi menjadi anhidrat perlahan-lahan. Kristal gipsum adalah monoklinik, hemihidrat heksagonal, dan anhidrat *orthorombik*. (Wildebrant, 2007).

Berikut ini adalah reaksi yang menunjukkan terbentuknya kerak kalsium sulfat yang ditunjukkan dalam Persamaan 3 dan 4 :



## 2.5 Metode Pencegahan Pembentukan Kerak

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 (Lestari dkk., 2004).

## **2. Peningkatan Kondisi Operasi Alat Penukar Panas**

Laju timbulnya kerak dipengaruhi oleh laju alir air, temperatur air, dan temperatur dinding luar penukar panas. Oleh karena itu, salah satu metode penghambatan kerak yang efektif adalah dengan pengendalian kondisi operasi pada dinding luar alat penukar panas. Namun, hal ini hanyalah sebagai pelengkap dan bahan penghambat kerak tetap diperlukan untuk pencegahan timbulnya kerak yang memadai.

## **3. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air**

Untuk mencegah terjadinya kerak pada air yang mengandung kesadahan air (kira-kira 250 ppm  $\text{CaSO}_4$ ) perlu adanya pelunakan dengan menggunakan kapur dan soda abu (pengolahan kapur dingin). Masalah kerak tidak akan dijumpai bilamana dipakai air bebas mineral karena seluruh garam-garam terlarut dapat dihilangkan. Oleh karena itu pemakaian air bebas mineral merupakan metode yang tepat untuk menghambat kerak di dalam suatu sistem dengan pembebanan panas tinggi dimana pengolahan konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil

(Lestari dkk., 2004). Namun, penggunaan air bebas mineral membutuhkan biaya yang cukup tinggi untuk digunakan dalam industri skala besar sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja.

#### 4. Inhibitor Kerak

Usaha lain untuk mengurangi laju pertumbuhan kerak yaitu dengan menginjeksikan bahan-bahan kimia pencegah kerak (*scale inhibitor*) ke dalam air formasi. Inhibitor merupakan zat yang digunakan untuk mengontrol pertumbuhan kerak dengan tujuan mengurangi, mencegah, atau menunda pembentukan kerak. Jenis-jenis inhibitor yang sering digunakan adalah senyawa asam lemah (asam karboksilat) dan ion logam. Contoh, asam lemah (asam karboksilat) yang digunakan sebagai inhibitor antara lain asam sitrat, asam tartarat, dan asam malat sedangkan ion logam yang digunakan sebagai inhibitor adalah ion tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) (Rabizadeh *et al.*, 2014).

Inhibitor biasanya diinjeksikan ke dalam larutan yang secara kontinu maupun periodik. Metode ini mampu mengendalikan proses *nucleation*, pertumbuhan kristal yang terjadi pada permukaan pipa, dan peralatan lainnya (Sousa and Bertran, 2014). Inhibitor juga dapat menurunkan pH larutan, mengontrol *impurity* ion senyawa anorganik serta komposisi morfologi dan fase kristal  $\text{CaCO}_3$ , dan mencegah proses *nucleation* atau pertumbuhan kristal (Wang *et al.*, 2010). Pemilihan inhibitor yang tepat dapat memberikan pengurangan yang murah dan efektif dalam pembentukan kerak karena konsentrasi yang rendah dapat berdampak besar pada pertumbuhan kristal. Penelitian tentang penghambat kerak didorong oleh kebutuhan industri yang kuat untuk penghambat yang efektif (Suharso *et al.*, 2017).

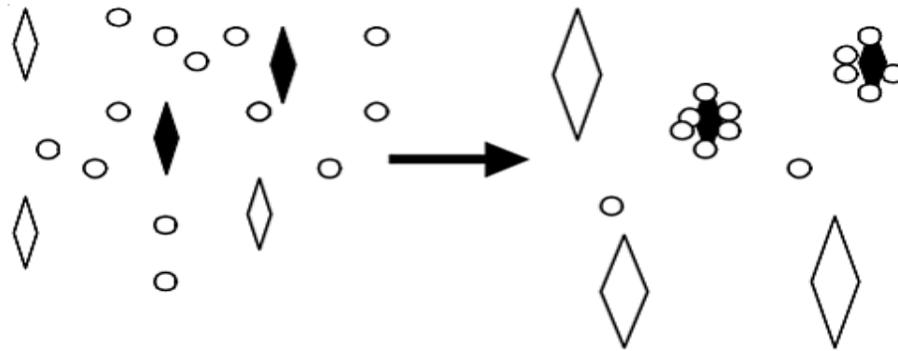
Terdapat beberapa syarat yang harus dimiliki senyawa kimia sebagai inhibitor kerak yaitu (Al-Deffeeri, 2006):

- a. Menunjukkan kestabilan termal yang cukup efektif untuk mencegah terbentuknya air sadah dari pembentukan kerak,
- b. Merusak struktur kristal dari padatan tersuspensi lain yang mungkin akan terbentuk, dan
- c. Memiliki tingkat keamanan yang tinggi dalam penggunaannya sehingga tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi lingkungan sekitar.

Mekanisme kerja inhibitor kerak terbagi menjadi dua, yaitu (Suharso dan Buhani, 2012):

1. Pada saat mulai terbentuk kerak, inhibitor kerak dapat mengadsorpsi pada permukaan kristal kerak. Inhibitor merupakan kristal yang besar yang dapat menutupi kristal yang kecil dan mencegah pertumbuhan lebih lanjut,
2. Dalam banyak hal, bahan kimia dapat dengan mudah mencegah partikel menempel pada permukaan padatan.

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



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

Perubahan ukuran kristal yang terjadi pada kristal  $\text{CaSO}_4$  tanpa inhibitor dan dengan inhibitor disebabkan oleh peran inhibitor yang menghambat permukaan kristal  $\text{CaSO}_4$  melalui adsorpsi pada permukaan kristal atau inti kristal. Penghambatan unit pertumbuhan oleh inhibitor menyebabkan laju pertumbuhan kerak  $\text{CaSO}_4$  melambat. Penghambatan pertumbuhan kristal  $\text{CaSO}_4$  akan mengakibatkan perubahan ukuran kristal  $\text{CaSO}_4$ . Hal ini sejalan dengan penelitian Sikirić dan Milhofer, yang meneliti pengaruh molekul organik terhadap kristalisasi biomineral dalam larutan yang menunjukkan perubahan laju pertumbuhan dan morfologi kristal kerak biomineral akibat penambahan molekul organik dengan kelompok fungsional tertentu (Suharso *et al.*, 2019).

## 2.6 Buah 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 dkk., 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 (*fibre*) 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).

Lembaga yang keluar dari kulit biji akan berkembang ke dua arah:

1. Arah tegak lurus ke atas (*phototrophy*) disebut plumula yang selanjutnya akan menjadi batang dan daun kelapa sawit
2. Arah tegak lurus ke bawah (*geotrophy*) disebut radikula yang selanjutnya akan menjadi akar (Sunarko, 2009).

Menurut Pahan (2008), buah kelapa sawit memiliki bagian perikarp dan biji. Berikut keterangan mengenai bagian-bagian buah kelapa sawit:

#### 1. *Perikarp*

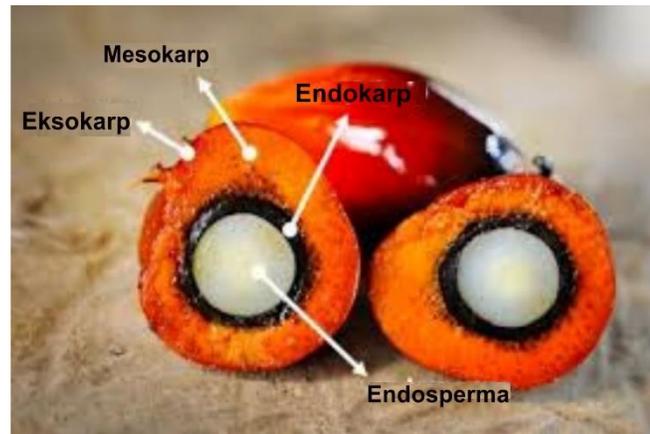
Perikarp memenuhi sekitar 80% bagian dari kelapa sawit. Kandungan minyak pada bagian ini mencapai 35-45%. Pada bagian perikarp dibagi menjadi dua, yaitu:

*Eksokarp* yaitu kulit terluar yang keras, berwarna kemerahan dan licin. *Mesokarp* yaitu daging buah yang berserabut yang terdiri dari tenunan-tenunan serat kasar dan mengandung minyak dengan rendemen paling tinggi pada saat buah masak.

## 2. Biji

Pada bagian biji dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

- *Endokarp*, yaitu tempurung buah kelapa sawit yang merupakan cangkang pelindung inti. Pada saat buah masih muda, tekstur *endokarp* masih lunak dan berwarna putih. Ketika buah sudah masak, tekstur *endokarp* menjadi lebih keras dan berwarna hitam.
- *Kernel*, yaitu inti buah kelapa sawit yang mengandung minyak *Palm Kernel Oil* (PKO) yang berwarna jernih dan bermutu tinggi.
- Lembaga atau embrio.



**Gambar 5.** Bagian Buah Sawit (Fernandez dkk., 2023).

Buah sawit terdiri dari empat bagian utama yaitu *eksokarp*, *mesokarp*, *endokarp*, dan *endosperma*. *Eksokarp* merupakan bagian terluar dari buah sawit yang berupa kulit buah yang bertekstur licin dan berwarna merah jingga pada buah yang matang. *Mesokarp* adalah bagian serabut dari buah sawit dan sebagai sumber utama dari minyak sawit. *Endokarp* adalah bagian lebih dalam setelah mesokarp yang berupa cangkang atau tempurung yang melindungi bagian dalam yang berupa inti sawit atau kernel (*endosperma*). Pada kernel inilah embrio sawit berada, yang mana merupakan bagian yang menghasilkan minyak inti sawit (*palm kernel oil*). (Nugroho, 2019).

Terdapat 2 macam jenis buah kelapa sawit, yaitu buah sawit segar dan masih menempel pada tandan serta butiran buah sawit lewat masak. Buah sawit segar dan masih menempel pada tandan adalah buah sawit segar dan baru dipanen dari kebun dengan ditandai warnanya yang berwarna merah mengkilat dan atau oranye, serta ditandai dengan butiran buah sekitar 12,5-50% dari janjang. Buah sawit lewat masak adalah buah yang sudah membusuk ditandai dengan warnanya yang mulai merah menghitam, janjang lebih dari 50% dan mengalami penundaan lebih dari 48 jam setelah pemanenan (Pahan, 2008).

## **2.7 Ekstrak Sabut Sawit**

Ekstrak adalah sediaan pekat yang diperoleh dengan mengekstraksi zat aktif dari simplisia nabati atau hewani menggunakan pelarut yang sesuai, kemudian semua atau hampir semua pelarut diuapkan dan massa atau serbuk yang tersisa diperlakukan sedemikian sehingga memenuhi baku yang telah ditetapkan (Ditjen POM, 2000). Ekstrak sabut sawit diperoleh melalui proses maserasi sabut sawit dengan menggunakan air sebagai pelarut. Proses maserasi terjadi karena adanya kesamaan atau kemiripan kepolaran senyawa. Pelarut akan memasuki kisi-kisi dari simplisia yang telah dikeringkan dan melarutkan sebagian atau seluruh senyawa yang terkandung dalam simplisia. Pelarut yang mengandung senyawa (sudah jenuh) kemudian ditampung dan digantikan oleh pelarut yang baru. Hal ini bertujuan untuk mengambil senyawa pada simplisia yang lebih banyak.

Ekstraksi adalah proses pemisahan suatu zat berdasarkan perbedaan sifat tertentu, terutama kelarutannya terhadap dua cairan tidak saling larut yang berbeda. Pada umumnya ekstraksi dilakukan dengan menggunakan pelarut yang didasarkan pada kelarutan komponen terhadap komponen lain dalam campuran, biasanya air dan yang lainnya pelarut organik. Bahan yang akan diekstrak biasanya berupa bahan kering yang telah dihancurkan, biasanya berbentuk bubuk atau simplisia (Sembiring, 2007).

Secara garis besar, proses pemisahan secara ekstraksi terdiri dari tiga langkah dasar yaitu:

1. Penambahan sejumlah massa pelarut untuk dikontakkan dengan sampel, biasanya melalui proses difusi.
2. Zat terlarut akan terpisah dari sampel dan larut oleh pelarut membentuk fase ekstrak.
3. Pemisahan fase ekstrak dengan sampel (Wilson, 2000).

Proses pemisahan senyawa dari simplisia dilakukan dengan menggunakan pelarut tertentu sesuai dengan sifat senyawa yang akan dipisahkan. Pemisahan senyawa berdasarkan kaidah *like dissolved like* yang artinya suatu senyawa akan larut dalam pelarut yang sama tingkat kepolarannya. Bahan dan senyawa kimia akan mudah larut pada pelarut yang relatif sama kepolarannya. Kepolaran suatu pelarut ditentukan oleh besar konstanta dielektriknya, yaitu semakin besar nilai konstanta dielektrik suatu pelarut maka polaritasnya semakin besar (Ahmad dkk., 2006). Pemilihan metode dan pelarut didasarkan pada senyawa target yang akan diisolasi dan tingkat kepolarannya. Untuk senyawa nonpolar dapat menggunakan pelarut *n*-heksana, petroleum eter, dan kloroform, serta untuk senyawa semi polar dapat menggunakan pelarut etil asetat, aseton, dan diklorometana, sedangkan untuk senyawa yang bersifat polar, dapat menggunakan metanol, etanol, atau air sebagai pelarut (Verdiana dkk., 2018).

Prinsip dasar ekstraksi adalah melarutkan senyawa polar dalam pelarut polar dan senyawa nonpolar dalam pelarut nonpolar. Tujuan dari proses ekstraksi adalah untuk mengekstrak semua komponen kimia yang ada dalam simplisia. Proses ekstraksi ini didasarkan pada perpindahan massa komponen padat ke dalam pelarut dengan perpindahan dimulai pada lapisan antarmuka dan kemudian berdifusi ke dalam pelarut (Tambun dkk., 2017). Proses pengekstraksian komponen kimia dalam sel tanaman dengan cara pelarut organik akan menembus dinding sel dan masuk ke dalam rongga sel yang mengandung zat aktif. Zat aktif akan larut dalam pelarut organik di luar sel, maka larutan terpekat akan berdifusi keluar sel dan proses ini akan berulang terus sampai terjadi keseimbangan antara konsentrasi cairan zat aktif di

dalam dan di luar sel. Faktor-faktor yang mempengaruhi ekstraksi yaitu ukuran partikel, kecepatan pengadukan, waktu ekstraksi, dan kelarutan pelarut atau tipe pelarut (Prayudo dkk., 2015).

Ekstraksi dapat dilakukan dengan bermacam-macam metode tergantung dari tujuan ekstraksi, jenis pelarut yang digunakan dan senyawa yang diinginkan. Metode ekstraksi yang paling sederhana adalah maserasi. Maserasi adalah perendaman bahan dalam suatu pelarut. Metode ini dapat menghasilkan ekstrak dalam jumlah banyak serta terhindar dari perubahan kimia senyawa-senyawa tertentu karena pemanasan (Pratiwi, 2009).

Maserasi dilakukan dengan merendam serbuk simplisia menggunakan pelarut yang sesuai. Kontak antara sampel dan pelarut dapat ditingkatkan dengan pengadukan untuk memaksimalkan proses ekstraksi (Koirewoa dkk., 2012). Perendaman sampel tumbuhan dengan pelarut akan menyebabkan pemecahan dinding sel dan membran sel oleh perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel, sehingga senyawa metabolit sekunder yang ada dalam sitoplasma dapat terlarut dalam pelarut organik yang digunakan (Yuliningtyas dan Kusmartono, 2016).

Maserasi menggunakan pelarut air dilakukan karena air merupakan pelarut yang mudah dijumpai dan mampu menarik senyawa yang bersifat polar (Ambaro dkk., 2020). Air adalah pelarut polar yang efektif untuk melarutkan senyawa-senyawa polar seperti karbohidrat, asam amino, dan beberapa senyawa fenolik (Kurniawati dkk., 2016). Menurut Sa`adah dan Nurhasnawati (2015) bahwa penggunaan air sebagai pelarut sering kali menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut lain seperti etanol, terutama untuk senyawa-senyawa ionik).

Cairan pelarut pada maserasi akan menembus dinding sel dan masuk kedalam rongga sel yang mengandung zat aktif. Zat aktif akan larut karena adanya perbedaan konsentrasi antara larutan zat aktif di dalam dan di luar sel, maka larutan yang terpekat didalam sel akan terdesak keluar. Peristiwa tersebut berulang hingga terjadi

keseimbangan konsentrasi antara larutan di luar dan dalam sel (Suwandi, 2012). Lamanya waktu maserasi berbeda-beda tergantung pada sifat atau ciri campuran serbuk dan pelarut. Lamanya maserasi harus cukup supaya dapat memasuki semua rongga dari struktur serbuk dan melarutkan semua zat yang mudah larut. Lamanya maserasi bisa memerlukan waktu beberapa jam atau beberapa hari untuk ekstraksi yang optimum (Reskika, 2011).

## 2.8 Cangkang Kelapa Sawit

Cangkang kelapa sawit merupakan salah satu limbah padat dari komoditi perkebunan kelapa sawit. Salah satu produk yang dapat dibuat dari limbah cangkang kelapa sawit adalah karbon aktif yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan (Wahyuni dan Fathoni, 2019). Ukuran dan ketebalan cangkang kelapa sawit berbeda-beda di setiap tempat, tergantung daerah asal dan jenis buah sawit yang diperoleh dari pabrik kelapa sawit. Terdapat tiga jenis kelapa sawit di Indonesia yaitu:

- *Pisifera* (Cangkang yang sangat tipis hingga tidak bercangkang)
- *Tenera* (Ketebalan cangkang 0,5 mm sampai sekitar 3,5 mm)
- *Dura* (Ketebalan cangkang 2 mm sampai sekitar 6 mm)



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

Standar cangkang kelapa sawit kami dapat dikategorikan ke dalam:

#### 1. Cangkang kelapa sawit yang tidak diolah

Cangkang kelapa sawit yang tidak diolah bersumber dari pabrik kelapa sawit dan dikirim langsung ke konsumen akhir tanpa proses apa pun untuk mengurangi berbagai komponen yang tidak diinginkan. Cangkang kelapa sawit dengan kualitas seperti itu memiliki harga yang lebih murah, namun karena perbedaan ukuran, ketebalan dan kandungan bahan asing yang besar pada cangkang kelapa sawit, maka cangkang kelapa sawit dapat digunakan lebih sering dan penggunaan jangka panjang akan memerlukan perawatan ketel uap yang lebih sering.

#### 2. Cangkang kelapa sawit yang diolah

Cangkang kelapa sawit yang diolah memiliki kualitas tinggi dan telah melalui kontrol kualitas untuk meminimalkan adanya benda asing, kadar air yang rendah, dan sedikit perbedaan ketebalan cangkang sawit. Setelah menjalani proses pengolahan, peningkatan kualitas cangkang kelapa sawit dapat dilihat dari parameter berikut ini :

##### 1. Perbedaan ketebalan cangkang yang lebih kecil

Ukuran optimalnya hingga 5 mm. Oleh karena itu, gunakanlah alat ukur yang presisi untuk menentukan ukuran tersebut.

##### 2. Kadar kelembaban/kadar air

Bahan ini mengandung air dalam jumlah yang sangat tinggi, bahkan persentasenya lebih tinggi dibandingkan bahan lainnya. Kadar air optimum menurut spesifikasi adalah sekitar 15%.

##### 3. Kadar serat

Bahan ini memiliki kandungan serat yang sama dengan abu, yaitu 5%. Selalu lakukan pengukuran terlebih dahulu untuk mengetahui kandungan seratnya.

##### 4. Kadar abu

Penting juga untuk memperhatikan kandungan abunya. Abu pada bahan ini tidak besar dan lebih sedikit dibandingkan abu pada air. Jika ingin menyesuaikan

dengan spesifikasinya, dapat memeriksa apakah levelnya 5% memenuhi spesifikasi.

#### 5. Kadar lemak

Bahan ini juga mengandung lemak, namun dalam jumlah yang sangat sedikit dibandingkan bahan lainnya. Bahan ini seharusnya hanya mengandung 2% lemak. Jika melebihi 2% belum bisa dikatakan kualitasnya bagus (DigitalClick, 2024).

## 2.9 Asap Cair Cangkang Sawit

Pirolisis adalah suatu proses dekomposisi bahan organik secara termokimia dengan proses pembakaran dengan sedikit ataupun tanpa kehadiran oksigen. Bahan organik dalam proses pemanasan akan mengalami pemecahan struktur kimia berubah fase gas. Proses pirolisis bertujuan untuk mengetahui nilai kandungan energi dan bahan baku yang digunakan, pemilihan bahan baku ditinjau pada material penyusun berupa hidrogen dan karbon (Mufrodi *et al.*, 2021). Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis adalah bahan baku yang digunakan, temperatur, dan waktu. Karakteristik bahan organik sangat mempengaruhi apabila bahan organik memiliki tekstur yang keras maka diperlukan waktu dan suhu yang tinggi untuk dapat memecah struktur dari bahan organik tersebut. Kemudian penggunaan temperatur yang semakin tinggi akan mendapatkan asap cair yang lebih banyak daripada biomassa dan juga sebaliknya, selanjutnya waktu pembakaran yang lebih lama akan menghasilkan asap cair daripada biomassa dan juga sebaliknya (Ridhuan dkk., 2020). Pembakaran pirolisis menghasilkan berbagai jenis produk diantaranya arang (*char*), asap cair (*bio-oil*) dan gas (Novita dkk., 2021).

*Liquid Smoke* atau lebih dikenal sebagai asap cair merupakan suatu hasil destilasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon serta senyawa-senyawa lain. Bahan baku yang banyak digunakan sekarang ini adalah kayu, bongkol kelapa sawit, dan ampas hasil penggergajian kayu. Tetapi yang umumnya asap cair itu sendiri telah

dikenal oleh beberapa negara seperti Jepang yang dibuat untuk bahan sebelum menggoreng ataupun memanggang daging. Dilihat dari unsur-unsur senyawa penyusun asap cair, unsur fenol yang biasanya banyak dikandung oleh asap cair tersebut. Fenol digunakan sebagai salah satu senyawa pembersih lantai dan desinfektan (Kamulyan, 2008).

Bahan baku yang banyak digunakan untuk pembuatan asap cair adalah berbagai jenis kayu, bongkol kelapa sawit, tempurung kelapa, sekam, ampas atau serbuk gergaji kayu, dan lain sebagainya (Darmadji, 2002). Asap cair diperoleh dengan cara mengkondensasi asap yang dihasilkan melalui cerobong pirolisis. Proses kondensasi asap menjadi asap cair sangat bermanfaat bagi perlindungan pencemaran udara yang ditimbulkan oleh proses tersebut. Tiga komponen utama dari asap cair yang berperan di dalam proses pengasapan yaitu senyawa fenol, karbonil, dan asam. Selain itu, asap cair yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan baku pengawet, antioksidan, desinfektan, ataupun sebagai biopeptisida (Dahlana, 2015).



**Gambar 7.** Macam-macam tingkatan (*grade*) asap cair (Riadi, 2011).

Asap cair *grade 2* merupakan asap cair yang telah melewati tahapan destilasi dengan menggunakan suhu 250-300 °C, kemudian dilakukan penyaringan zeolit. Asap cair ini memiliki warna kuning kecoklatan dan diorientasikan untuk pengawetan bahan makanan mentah (Yulistiani, 2008).

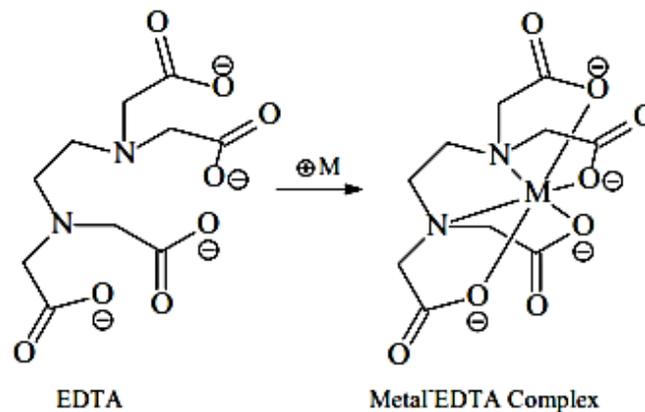
Cangkang kelapa sawit merupakan limbah pengolahan kelapa sawit yang banyak mengandung senyawa kimia antara lain senyawa asam asetat, selulosa, karbonil, lignin, *phenol* (Fauziati dan Haspiadi, 2016). Asap cair hasil pirolisis cangkang kelapa sawit diketahui mengandung senyawa fenolik 2,91%, karbonil 1,75%, dan total asam 10,43% (Utami, 2010). Upaya untuk mengurangi limbah, cangkang kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan penghasil asap cair sehingga mengurangi daya cemar serta memiliki nilai tambah (Sulhatun, 2012). Asap cair dari cangkang sawit dengan suhu 250-400 °C menghasilkan asap cair berwarna coklat kehitaman dan memiliki komponen senyawa tergolong senyawa asam seperti asam asetat, *acetic acid ethenyl ester*, *2-oxopropanoic acid*, *folic acid*, tergolong phenol seperti *phenol*, *2-metoxy phenol*, dan senyawa aseton, *2-propen-1-allyl-1-1-alcohol* (Fauziati dan Sampepana, 2016). *Phenol* diketahui memiliki sifat sebagai antibakteri dan antioksidan yang dalam kombinasinya dengan asam-asam organik dapat bekerja secara efektif untuk mengontrol pertumbuhan mikroba (Fauziati, 2016).

Menurut Fauziati *et al* (2014), pirolisis cangkang sawit pada suhu 200 °C selama 4 jam menghasilkan asap cair berwarna coklat hingga kehitaman dan beraroma menyengat sehingga diperlukan permurnian asap cair agar dapat diaplikasikan sebagai bahan antiseptik pencuci tangan. Asap cair yang dihasilkan sebelum dan sesudah dimurnikan dilakukan analisa daya hambat bakteri terhadap 3 jenis bakteri yaitu bakteri *Escherichia coli*, *Salmonella thypi*, dan *Staphylococcus aureus*. Asap cair sebelum dimurnikan terdiri dari asap cair hasil pirolisis setelah di saring (residu) dan asap cair dari pirolisis yang di destilasi kembali (destilat) (destilasi I). Kadar fenol yang besar pada asap cair dapat dijadikan bahan utama produk disinfektan sehingga meningkatkan nilai komersil yang lebih tinggi dibandingkan cangkang kelapa sawit yang dianggap sebagai limbah. Telah dilakukan pengujian efektivitas asap cair dari tempurung kelapa sawit sebagai anti bakteri pada berbagai konsentrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa asap cair dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada konsentrasi 15% (Sumpono, 2018).

Adanya daya hambat terhadap pertumbuhan bakteri dapat disebabkan oleh kandungan fenol dan asam asetat yang dapat berfungsi sebagai antibakteri. Mekanisme senyawa fenol dan derivatnya sebagai disinfektan dengan merusak membran sel bakteri sehingga menyebabkan ion organik nukleotida koenzim dan asam amino mengalir keluar dari sel bakteri dan menyebabkan bahan-bahan penting tidak dapat masuk ke dalam sel, hal ini menyebabkan terganggunya sistem pertumbuhan bakteri dan bahkan dapat menyebabkan kematian sel (Lestari *et al.*, 2015). Asam asetat adalah salah satu asam organik yang biasa dijadikan sebagai antibakteri karena mampu menurunkan pH sehingga menyebabkan instabilitas pada membran sel (Miskiyah dan Juniawati, 2014).

#### **2.10 Asam Etilen Diamin Tetra Asetat (EDTA)**

Molekul organik/anorganik dengan sifat pengkhelat digunakan sebagai inhibitor untuk mencegah kerak. *Ethylene diamine tetra acetic acid* (EDTA), *diethylene triamine penta acetic acid* (DTPA), asam sitrat, dan asam glukonat adalah contoh khelat yang khas. Fungsi agen pengkelat adalah untuk mencegah pembentukan kerak. Bagian anion dari inhibitor bergabung dengan bagian kation, misalnya ion logam dalam larutan menghasilkan pembentukan ikatan koordinasi dengan kation dari kerak (Gambar 8) (Kumar *et al.*, 2018). Bergantung pada perbandingan stoikiometri kation dan anion dalam larutan, molekul khelat berikatan dengan kation kerak. Namun, penghambatan pembentukan kerak oleh penggunaan agen pengkhelat mahal. Dalam kerak yang besar, bahan kimia dibutuhkan untuk pencegahan kerak yang berhasil karena berfungsi secara stoikiometri (Olajire, 2015; Kumar *et al.*, 2018).



**Gambar 8.** Representasi molekul pengkhelat EDTA.

Metode kimia untuk pencegahan kerak banyak digunakan dalam industri perminyakan, yaitu agen kimia anti-kerak dituangkan ke dalam cairan untuk diperlakukan dengan mengikat dengan kation divalen tersebut seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ , dan seterusnya. Saat ini, yang umum digunakan inhibitor kerak komersial termasuk *ethylene ediamine tetra acetic acid* (EDTA), *diethylene triamine penta acetic acid* (DTPA), *ethylene diamine tetra methylene phosphonic acid* (EDTMP), *amino trimethylene phosphonic acid* (ATMP), dan *1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid* (HEDP) (Khormali and Petrakov, 2016). Penghambat kerak ini tidak bisa hanya membentuk kompleks dengan  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  dan mengurangi tingkat kejenuhan, tetapi juga melemahkan adhesi mereka ke permukaan karena ketidaksimetrisan morfologisnya. Padahal penambahan agen anti-kerak dapat menghambat pembentukan partikel kerak dalam larutan yang tinggi biaya dan efisiensi rendah dibatasinya aplikasi, khususnya dalam sistem pipa rendah. Sebagai khelat yang khas, EDTA adalah sejenis ligan khelasi dengan afinitas tinggi yang konstan, yang dapat membentuk kompleks logam-EDTA (Mpelwa and Tang 2019).

### **2.11 Metode *Seeded* dan *Unseeded Experiment***

Menurut Rahmania (2012) 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*).

Metode *unseeded experiment* merupakan salah satu metode pembentuk kristal dengan cara tidak menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kristal pada alat-alat industri yang masih baru digunakan sehingga dapat mencegah terbentuknya kerak.

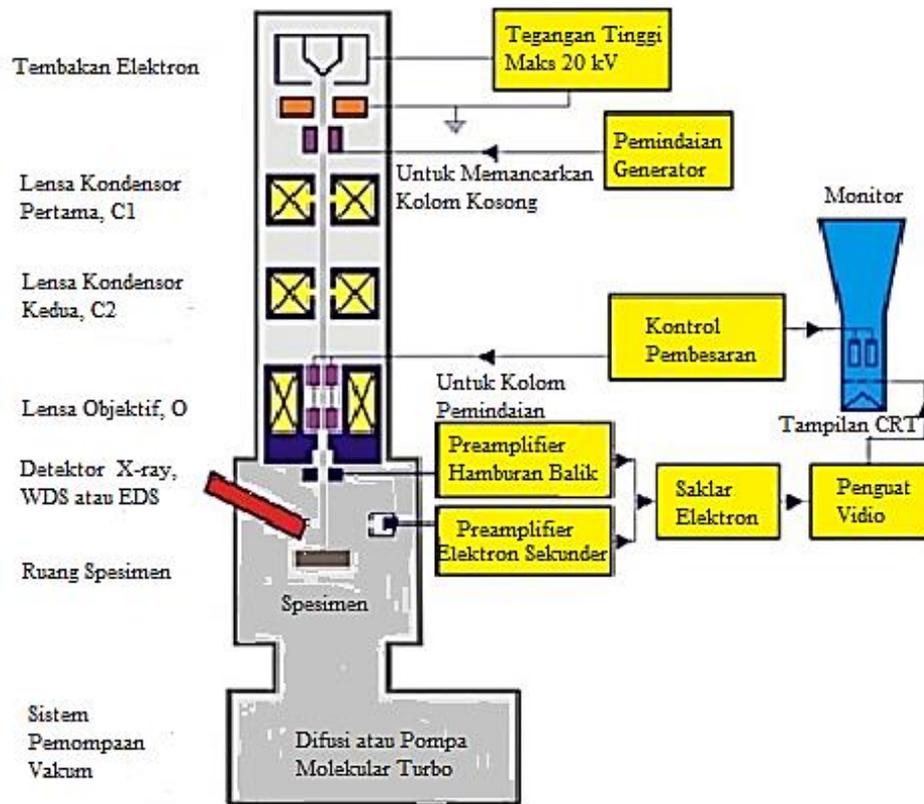
### **2.12 Analisis dan Karakterisasi Kerak Kalsium Sulfat (CaSO<sub>4</sub>)**

Pada penelitian ini dilakukan beberapa analisis terhadap kristal CaSO<sub>4</sub> yang terbentuk. Analisis tersebut meliputi analisis gugus fungsi dan komponen kimia terhadap inhibitor campuran dengan menggunakan *spektrofotometer Infrared* (IR) dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS), morfologi permukaan kristal CaSO<sub>4</sub> menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-ray Diffractogram* (XRD), serta analisis distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Analisis ini dilakukan agar dapat mengetahui seberapa efektif inhibitor campuran dalam menghambat pembentukan kerak CaSO<sub>4</sub>.

## 1. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

*Scanning Electron Microscopy (SEM)* merupakan metode identifikasi dalam karakterisasi yang mampu memberikan resolusi yang tinggi untuk dapat mengamati apa yang terjadi di dalam dan di sekitar *interface* antara bahan dengan lapisan oksida secara detil. SEM menggunakan elektron yang menggambarkan sampel dengan memindai seberkas elektron dalam pola *scan raster*. Pada proses identifikasi menggunakan SEM, tidak hanya sekedar pengambilan gambar dan fotografi, tetapi perlu dilakukan dengan teknik dan metode operasi yang benar karena pembentukan *image* pada alat ini merupakan interaksi korpuskular antara elektron sumber dengan atom pada bahan yang menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi, dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik. Pada penggunaan SEM pada obyek pengamatan yang berukuran kecil dan mengandung komponen non konduktif akan memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada pembesaran yang tinggi, karena itu perlu pengaturan parameter seperti, *high voltage*, *spot size*, bias, dan *beam current* serta parameter optiknya seperti, kontras, *focus*, dan astigmatismus yang tepat untuk memberikan gambar yang optimal secara ilmiah (Sujatno, 2015).

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk morfologi sampel dalam berbagai bidang. Analisis ini juga untuk mengetahui penyatuan butiran pada suhu sintering yang diterapkan. Penyatuan butiran dan ukuran partikel yang besar pada mikrostruktur ini menyebabkan kerapatan pada mikrostruktur, sehingga pori-porinya terlihat mengecil. Pola yang terbentuk menggambarkan struktur dari sampel dan mengetahui adanya butiran-butiran yang telah menyatu. (Istiyati dan Dwi, 2013). Blok diagram SEM dapat dilihat pada Gambar 9.



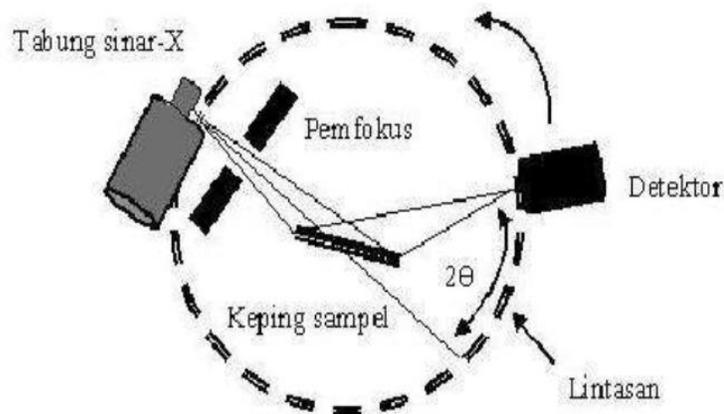
**Gambar 9.** Blok diagram SEM (Sujatno, 2015).

## 2. X-ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X merupakan metode analisa yang memanfaatkan interaksi antara sinar-X dengan atom yang tersusun dalam sebuah sistem kristal. Untuk dapat memahami prinsip dari difraksi sinar-X dalam analisa kualitatif maupun kuantitatif, terlebih dahulu diuraikan penjelasan mengenai sistem kristal (Muzakir, 2012). Analisis difraksi sinar-X didasarkan pada susunan sistematis atom atau 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).

Analisa *X-ray Diffraction* (XRD) merupakan contoh analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola pembiasan cahaya sebagai akibat dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya. Secara sederhana, prinsip kerja dari XRD dapat dijelaskan sebagai berikut. Setiap senyawa terdiri dari susunan atom-atom yang membentuk bidang tertentu. Jika sebuah bidang memiliki bentuk yang tertentu, maka partikel cahaya (foton) yang datang dengan sudut tertentu hanya akan menghasilkan pola pantulan maupun pembiasan yang khas. Dengan kata lain, tidak mungkin foton yang datang dengan sudut tertentu pada sebuah bidang dengan bentuk tertentu akan menghasilkan pola pantulan ataupun pembiasan yang bermacam-macam. Sebagai gambaran, bayangan sebuah objek akan membentuk pola yang sama seandainya cahaya berasal dari sudut datang yang sama. Kekhasan pola difraksi yang tercipta inilah yang dijadikan landasan dalam analisa kualitatif untuk membedakan suatu senyawa dengan senyawa yang lain menggunakan instrumen XRD. Pola unik yang terbentuk untuk setiap difraksi cahaya pada suatu material seperti halnya *finger print* (sidik jari) yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa yang berbeda (Muzakir, 2012). Skema kerja analisis XRD dapat dilihat pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Skema cara kerja XRD (Menik, 2010).

Kegunaan analisis XRD di antaranya adalah :

- a. Analisis kualitatif dan penetapan semi-kuantitatif.
- b. Menentukan struktur kristal pengindeksian bidang kristal, dan kedudukan atom dalam kristal.
- c. Untuk analisis kimia (identifikasi zat yang belum diketahui, penentuan kemurnian senyawa, dan deteksi senyawa baru).

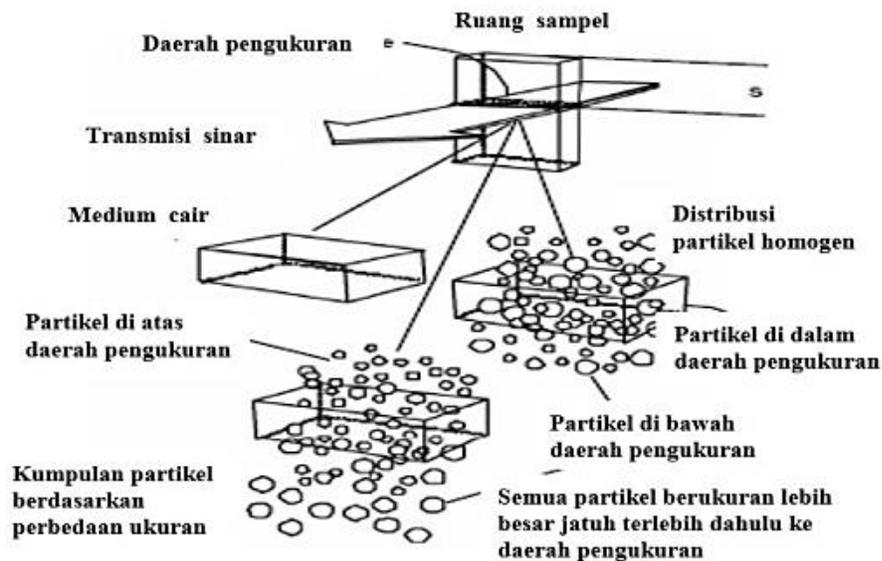
### **3. Particle Size Analyzer (PSA)**

*Particle Size Analyzer (PSA)* adalah suatu instrument yang memiliki prinsip kerja dengan cara pembubaran cahaya oleh partikel-partikel ketika melewati berkas sinar laser yang kemudian dianalisis oleh komputer sebagai distribusi ukuran partikel (Lusi, 2011). PSA digunakan untuk menentukan ukuran partikel, dimana partikel didispersikan ke dalam media cair sehingga partikel tidak saling beraglomerasi (menggumpal). Ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari partikel tunggal. Data ukuran partikel yang didapatkan berupa tiga distribusi yaitu intensitas, nomor, dan volume distribusi sehingga dapat diasumsikan menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Nikmatin dkk., 2011). PSA mampu mengukur partikel distribusi ukuran emulsi, suspensi, dan bubuk kering (Totoki *et al.*, 2007).

Metode pengukuran distribusi ukuran nanopartikel menggunakan PSA dinilai lebih akurat dalam menentukan distribusi ukuran partikel dibandingkan metode analisa gambar. Metode PSA merupakan metode dengan prinsip hamburan cahaya dinamis (DLS). Metode pengukuran menggunakan PSA dapat berupa metode basah dengan menggunakan media pendispersi serta metode kering dengan memanfaatkan udara atau aliran udara untuk melarutkan partikel dan membawanya ke *sensing zone*. Pengukuran partikel dengan menggunakan PSA umumnya menggunakan metode basah agar partikel tidak saling beraglomerasi (menggumpal). Prinsip penggunaan dengan metode basah tersebut membuat PSA mampu mengukur ukuran partikel dari

partikel tunggal. Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi sehingga hasil pengukuran dapat diasumsikan sudah menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Rawle, 2010).

Sampel berupa padatan lebih banyak mengabsorpsi sinar-X daripada cairan, oleh karena itu transmisi sinar-X dikurangi. Sejak pencampuran suspensi yang homogen, intensitas diasumsikan sebagai nilai konstan, I<sub>min</sub> untuk transmisi sinar-X dalam skala pengurangan yang penuh. Aliran pencampuran dihentikan dan penyebaran yang homogen dimulai untuk menyelesaikan pentransmisian intensitas sinar-X yang dimonitor pada *depth*-s. Selama proses sedimentasi, partikel yang besar menempati tempat pertama di bawah zona pengukuran dan pada akhirnya, semua partikel menempati level ini dan yang tertinggal hanya cairan yang bersih. Semakin banyak partikel besar yang menempati di bawah zona pengukuran dan tidak digantikan dengan ukuran partikel yang sama yang menempati dari atas, maka pelemahan sinar-X berkurang. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf dapat ditunjukkan pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf (Webb, 2006).

#### 4. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

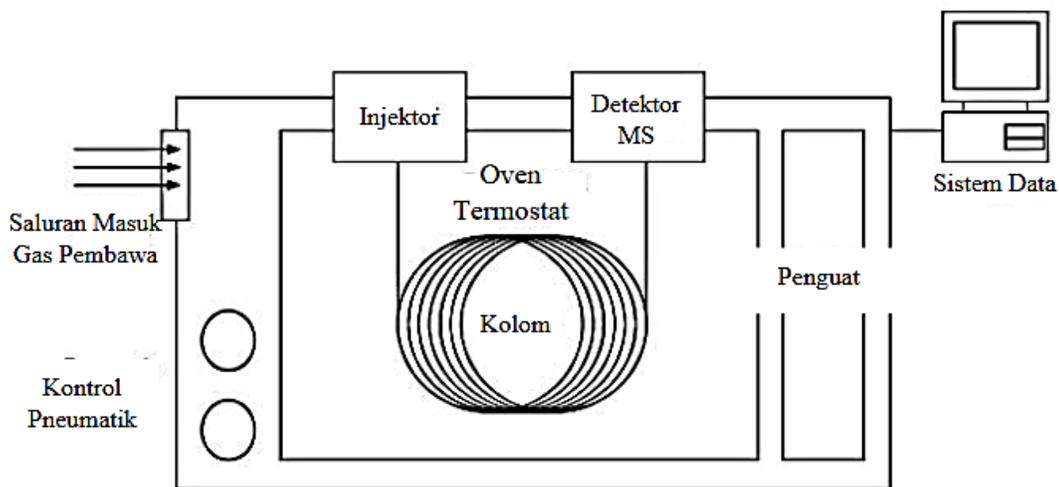
*Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)* merupakan teknik kromatografi gas yang digunakan bersama dengan spektrometri massa. Penggunaan kromatografi gas dilakukan untuk mencari senyawa yang mudah menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah jika dipanaskan. Sedangkan spektrometri massa untuk menentukan bobot molekul, rumus molekul, dan menghasilkan molekul bermuatan (Darmapatni dkk., 2016).

Seiring dengan perkembangan teknologi maka instrument *Gas Chromatography (GC)* digunakan secara bersama-sama dengan instrumen lain seperti *Mass Spectrometry (MS)* sehingga biasa disebut dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*. Dalam hal ini, MS diperlukan untuk identifikasi senyawa sebagai penentu bobot molekul dan penentuan rumus molekul, sedangkan GC hanya berfungsi sebagai sarana pemisah tanpa dilengkapi dengan detektor sebagaimana GC pada umumnya, tetapi yang berfungsi sebagai detektornya adalah MS (David, 2005).

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, 2006).

Kebanyakan analisis dengan GC-MS dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu: kualitatif dan kuantitatif. Kedua analisis tersebut menggunakan spektrometer massa sebagai detektor (Munson, 1991). Berdasarkan analisis GC-MS diperoleh dua informasi dasar, yaitu hasil analisis kromatografi gas yang ditampilkan dalam bentuk kromatogram dan hasil analisis spektrometri massa yang ditampilkan dalam bentuk spektrum massa. Kromatogram memberikan informasi mengenai jumlah komponen kimia yang terdapat dalam campuran yang dianalisis (jika sampel berbentuk

campuran) yang ditunjukkan oleh jumlah puncak yang terbentuk pada kromatogram berikut kuantitas masing-masing. Spektrum massa hasil analisis sistem spektroskopi massa merupakan gambaran mengenai jenis dan jumlah fragmen molekul yang terbentuk dari suatu komponen kimia (masing-masing puncak pada kromatogram). Setiap fragmen yang terbentuk dari pemecahan suatu komponen kimia memiliki berat molekul yang berbeda dan ditampilkan dalam bentuk diagram dua dimensi,  $m/z$  ( $m/e$ , massa/muatan) pada sumbu X dan intensitas pada sumbu Y yang disebut spektrum massa (Agusta, 2000). Skema cara kerja GC-MS dapat dilihat pada Gambar 12.

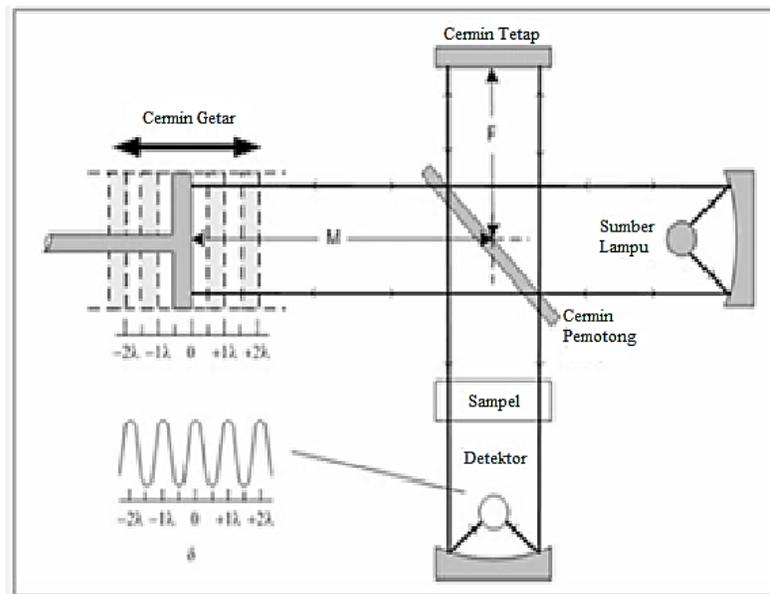


**Gambar 12.** Skema cara kerja GC-MS (Agusta, 2000).

## 5. Spektroskopi *Infra Red* (IR)

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) atau spektroskopi inframerah adalah suatu metode analisis berdasarkan pada prinsip interaksi suatu senyawa kimia dengan radiasi elektromagnetik yang akan menghasilkan suatu getaran (vibrasi) dari suatu ikatan kimia poliatomik atau gugus fungsional senyawa kimia. Teknik ini disebut spektroskopi vibrasional (Moros *et al.*, 2010). 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). Cara kerja IR dapat dilihat pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Cara kerja *Infrared* (IR) (Arya, 2008).

Terdapat 3 jenis spektroskopi vibrasional yang diaplikasikan luas dalam bidang farmasi yaitu spektroskopi inframerah dekat (*near infrared*), spektroskopi inframerah tengah (*mid infrared*), dan spektroskopi Raman. Daerah yang penting untuk analisis kualitatif sistem organik adalah IR tengah, karena banyak ditemukan vibrasi dasar. Daerah spektra Raman adalah sama dengan IR tengah. Pada daerah IR dekat umumnya digunakan konfirmasi struktur kimia, dan pada IR jauh penggunaannya sangat terbatas (Rohman, 2014).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan September 2023 sampai Februari 2024. Analisis kadar air dan nilai kalori dilakukan di Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, analisis IR dilakukan di Balai Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Anak Tuha, analisis GC-MS di Balai Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Serpong, analisis SEM, PSA, dan XRD dilakukan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Tanjung Bintang.

#### 3.2 Bahan dan Alat

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

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah ; alat-alat gelas yang sering digunakan di laboratorium, *water bath* merek *Thermoscientific* AC 200/S21 dari Amerika Serikat, gelas-gelas plastik, pengaduk magnet, spinbar, oven merek *Innotech* dari Cina, neraca analitik *Arshwoth* AA-160 dari Jepang, pH meter digital, SEM merek *ThermoFisher Scientific* 9953977 dari Amerika Serikat , PSA merek SZ-100V2 dari Jepang, XRD merek *Panalytical Xpert 3 Powder* dari Inggris, IR merek

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

### **3.3 Prosedur Penelitian**

#### **3.3.1 Pembuatan Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit**

Buah kelapa sawit yang sudah diambil dari kebun kelapa sawit dikupas dan diambil kulit buah sawit. Lalu, kulit buah kelapa sawit dipotong hingga kecil-kecil. Kemudian 1 kg kulit buah kelapa sawit dimaserasi selama 60 detik menggunakan air mendidih sejumlah 1 liter untuk mendapatkan ekstrak sabut sawit. Ekstrak sabut sawit yang berupa cairan selanjutnya disentrifugasi dengan kecepatan 2500 rpm selama 30 menit. Filtrat hasil sentrifugasi disaring untuk menghilangkan endapan-endapan yang masih ada.

Pada penelitian ini digunakan ekstrak sabut sawit dengan variasi konsentrasi 5, 15, 25, 35, dan 45%. Pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 5% dilakukan dengan cara mengambil 5 mL ekstrak kelapa sawit, lalu diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 100 mL, kemudian dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15, 25, 35, dan 45%.

Untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang terdapat inhibitor ekstrak sabut sawit dilakukan karakterisasi menggunakan GC-MS. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam inhibitor ekstrak sabut sawit, filtrat dilakukan karakterisasi menggunakan IR.

### **3.3.2 Pembuatan Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit**

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

Pada penelitian ini digunakan asap cair cangkang sawit dengan variasi konsentrasi 5, 15, 25, 35, dan 45%. Pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 5% dilakukan dengan cara mengambil 5 mL asap cair cangkang sawit, lalu diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 100 mL, kemudian dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15, 25, 35, dan 45%.

Untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang terdapat pada asap cair cangkang sawit dilakukan karakterisasi GC-MS. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam inhibitor asap cair cangkang sawit, filtrat dilakukan karakterisasi menggunakan IR.

### **3.3.3 Pembuatan Inhibitor EDTA**

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

### 3.3.4 Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Sabut Sawit dan Asap Cair Cangkang Sawit

Perpaduan ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit diuji efektivitasnya dengan memvariasikan konsentrasi campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit dimana konsentrasi ekstrak sabut sawit dibuat tetap. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit dapat dilihat pada Tabel 1. Larutan campuran ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 15 menit dengan suhu 90 °C dan didinginkan kemudian disimpan dalam botol gelap.

**Tabel 1.** Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak sabut sawit dan asap cair cangkang sawit.

<b>Inhibitor Ekstrak Sabut Sawit (%)</b>	<b>Inhibitor Asap Cair Cangkang Sawit (%)</b>
35	5
35	15
35	25
35	35
35	45

### 3.3.5 Pembuatan Bibit Kristal

Bibit kristal dibuat dari  $\text{CaCl}_2$  27,75 g yang dilarutkan dalam akuades dengan volume total 250 mL kemudian diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet pada suhu 90 °C selama 15 menit dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  35,5 g dilarutkan dalam akuades dengan volume total 250 mL kemudian diaduk dengan pengaduk magnet pada suhu 90 °C selama 15 menit. Larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2$  dicampurkan serta diaduk dengan magnetik stirer pada suhu 90 °C hingga mengendap sempurna. Kemudian endapan dipisahkan dengan kertas saring dan endapan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C.

### 3.3.6 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaSO<sub>4</sub>

Tahapan untuk menguji pengujian ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, dan EDTA sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal CaSO<sub>4</sub> dengan metode *unseeded* dan *seeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut:

#### a. Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO<sub>4</sub> Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,10 M CaCl<sub>2</sub> anhidrat dan larutan 0,10 M Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> masing-masing dengan volume total akuades 300 mL. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl<sub>2</sub> anhidrat 0,10 M dan larutan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,10 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak CaSO<sub>4</sub> dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan CaSO<sub>4</sub> yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, 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<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 0,15 dan 0,20 M.

**b. Penentuan Laju Pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan Penambahan Berbagai Macam Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment***

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,10 M  $\text{CaCl}_2$  anhidrat dan larutan 0,10 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  masing-masing dengan volume total 300 mL inhibitor ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, serta EDTA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan  $\text{CaCl}_2$  anhidrat 0,10 M dan larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,10 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak  $\text{CaSO}_4$  dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan  $\text{CaSO}_4$  yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, 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  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebesar 0,15 dan 0,20 M serta variasi konsentrasi inhibitor ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran inhibitor ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, serta EDTA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan.

**c. Penentuan Laju Pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment***

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,10 M  $\text{CaCl}_2$  anhidrat dan larutan 0,10 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  masing-masing dengan volume total akuades 300 mL. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan  $\text{CaCl}_2$  anhidrat 0,10 M dan larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,10 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak  $\text{CaSO}_4$  dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter. Larutan  $\text{CaSO}_4$  yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang sudah berisi 0,2 gram bibit kristal masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, 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  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebesar 0,15 dan 0,20 M.

**d. Penentuan Laju Pertumbuhan  $\text{CaSO}_4$  dengan Penambahan Berbagai Macam Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment***

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,10 M  $\text{CaCl}_2$  anhidrat dan larutan 0,10 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  masing-masing dengan volume total 300 mL inhibitor ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, serta EDTA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan  $\text{CaCl}_2$  anhidrat 0,10 M dan larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,10 M dicampurkan dan diaduk

menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak CaSO<sub>4</sub> dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

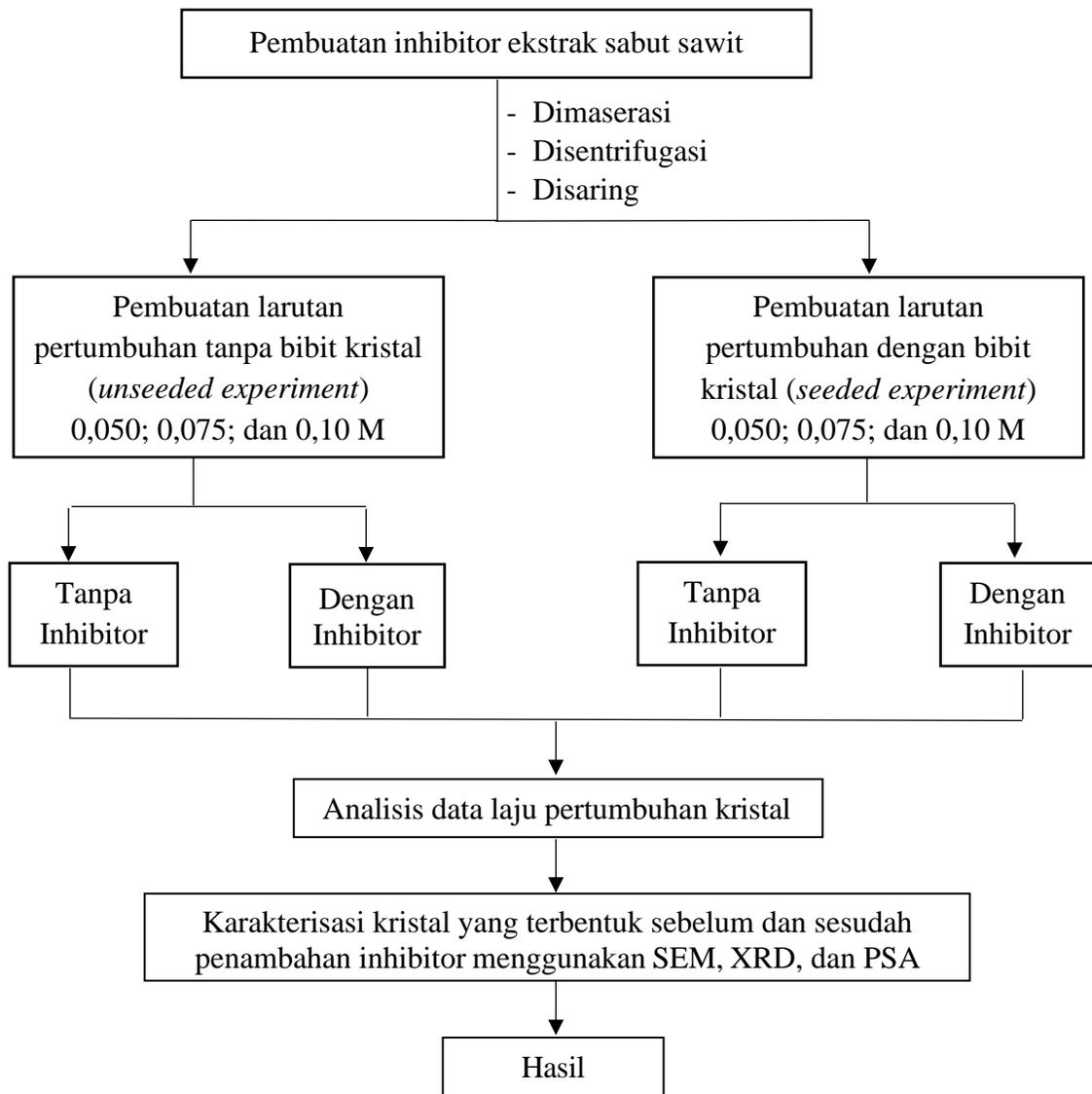
Larutan CaSO<sub>4</sub> yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang sudah berisi 0,2 gram bibit kristal masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam water bath pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pengamatan dilakukan selama 60 menit, pada waktu 20 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, 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<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 0,15 dan 0,20 M serta variasi konsentrasi inhibitor ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit, serta EDTA dengan konsentrasi yang sudah ditentukan.

### **3.3.7 Analisis Data**

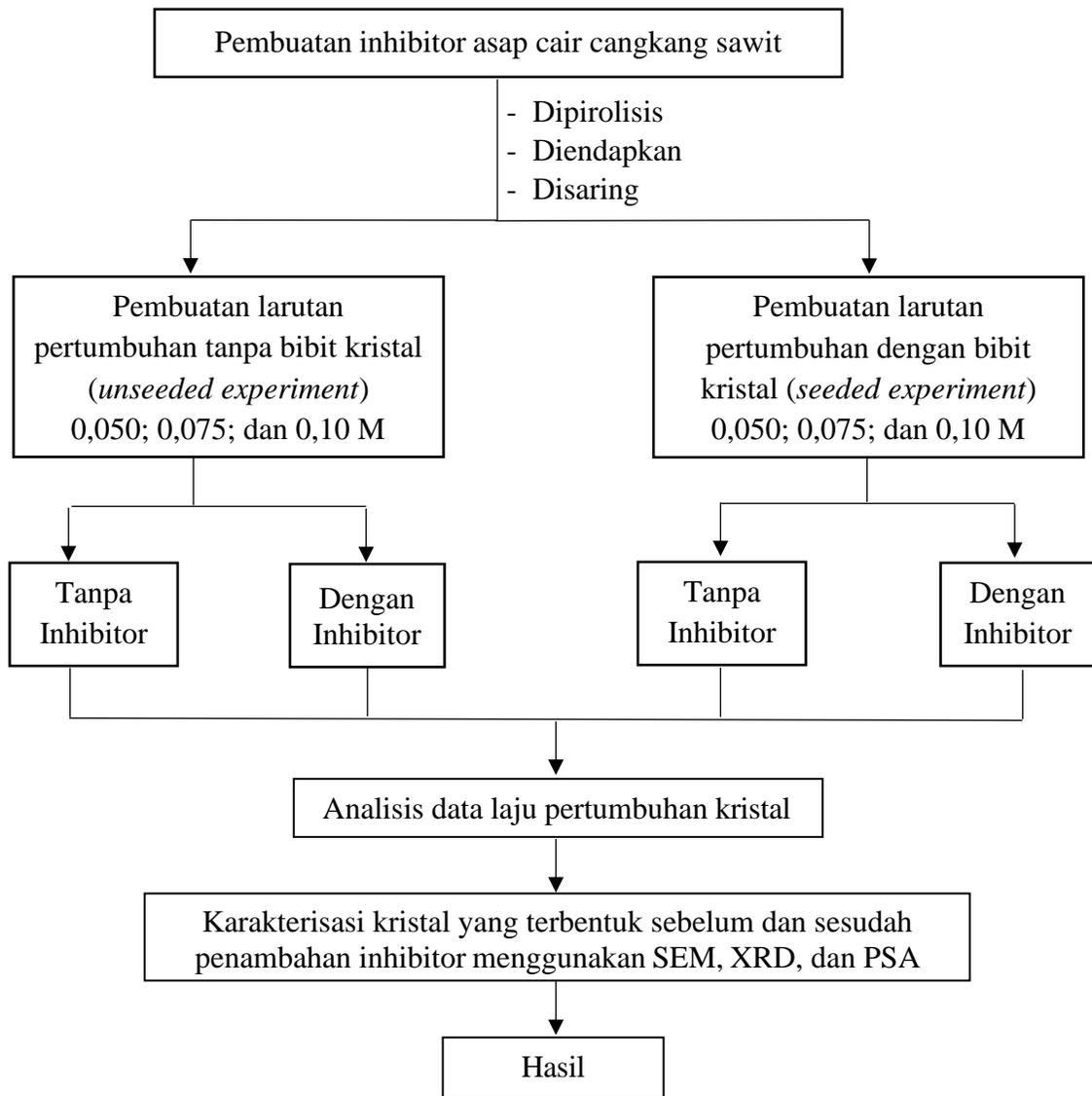
Data yang diperoleh berupa jumlah endapan terhadap waktu dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing diplot sebagai jumlah endapan terhadap waktu menggunakan Microsoft Excel. Morfologi kerak CaSO<sub>4</sub> sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan SEM. Perubahan ukuran partikel dari kelimpahan CaSO<sub>4</sub> pada masing-masing endapan dari setiap percobaan yang dilakukan juga dianalisis dengan PSA. Struktur kristal CaSO<sub>4</sub> sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan XRD.

### 3.3.8 Diagram Alir Penelitian

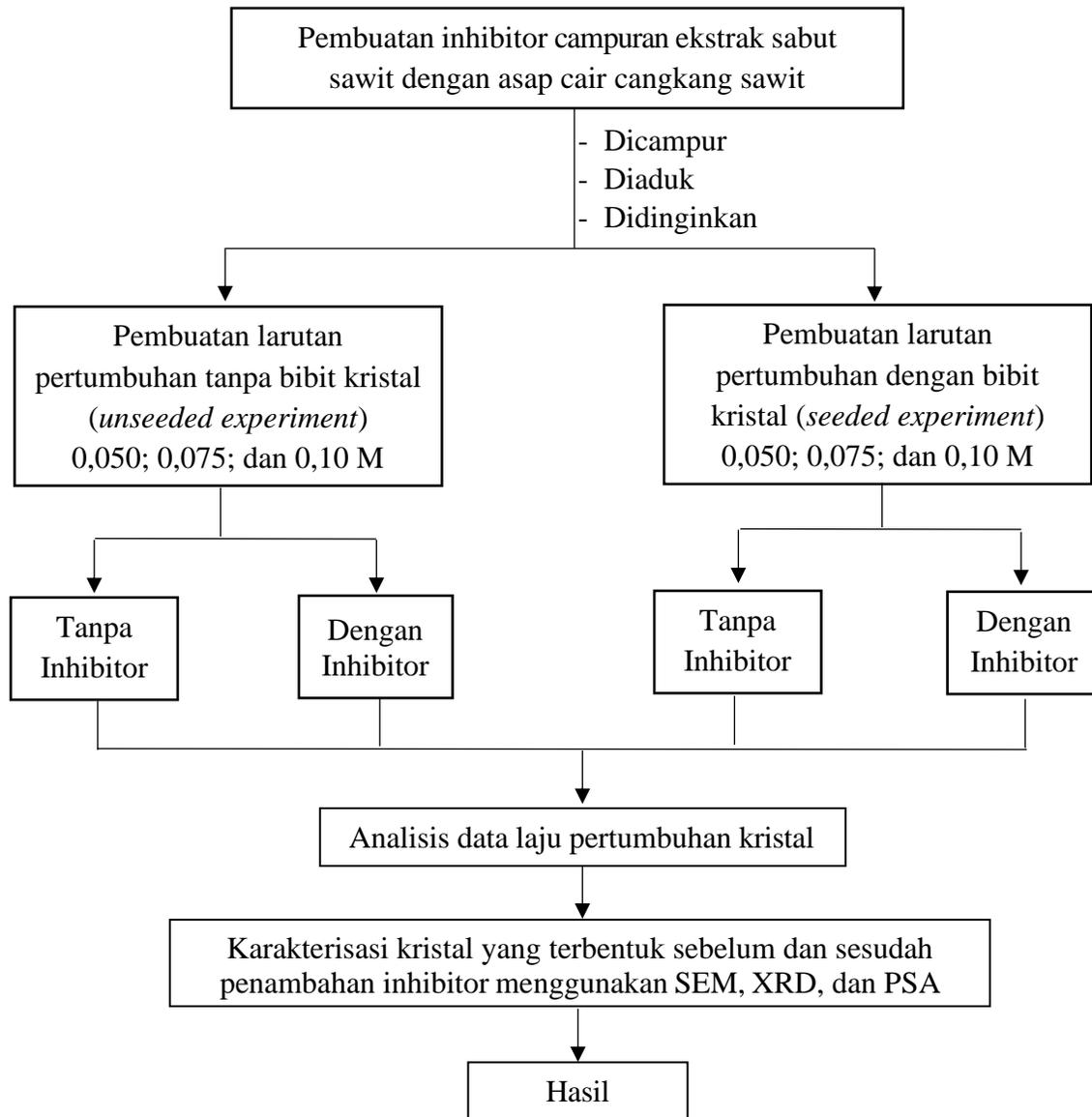
Secara keseluruhan penelitian ini terangkum dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 14, 15, 16, dan 17.



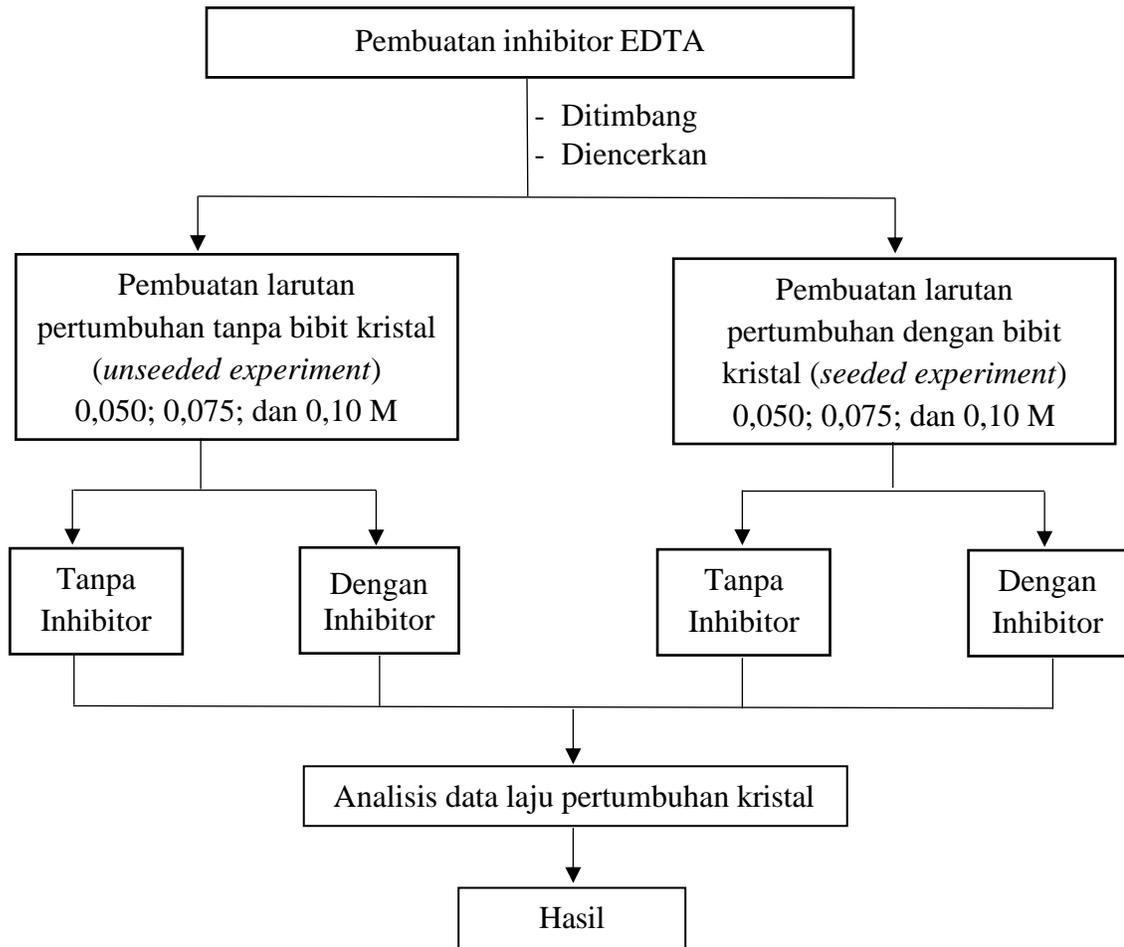
**Gambar 14.** Diagram alir penelitian dengan inhibitor ekstrak sabut sawit.



**Gambar 15.** Diagram alir penelitian dengan inhibitor asap cair cangkang sawit.



**Gambar 16.** Diagram alir penelitian dengan inhibitor campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit.



**Gambar 17.** Diagram alir penelitian dengan inhibitor EDTA.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kemampuan inhibitor dalam menghambat pembentukan kerak kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) yang paling efektif pada larutan pertumbuhan dengan konsentrasi 0,050 M dengan metode *seeded experiment* pada inhibitor ekstrak sabut sawit konsentrasi 35% sebesar 62,187%, asap cair cangkang sawit konsentrasi 25% sebesar 54,624%, campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit konsentrasi inhibitor 35% dan 25% sebesar 55,962%, dan EDTA konsentrasi inhibitor 5% sebesar 95,405%.
2. Analisis morfologi kerak  $\text{CaSO}_4$  menggunakan SEM menunjukkan perubahan morfologi kristal tanpa penambahan dan dengan penambahan inhibitor. Tanpa penambahan inhibitor kristal  $\text{CaSO}_4$  berbentuk panjang dan berukuran besar, sedangkan dengan penambahan inhibitor kristal  $\text{CaSO}_4$  berbentuk pendek dan berukuran kecil.
3. Analisis struktur kristal menggunakan XRD menunjukkan perbedaan puncak difaktogram  $2\theta$ . Tanpa penambahan inhibitor menunjukkan fasa gipsum dan basanit, sedangkan dengan penambahan inhibitor menunjukkan fasa gipsum, basanit, dan anhidrit.
4. Analisis distribusi partikel menggunakan PSA menunjukkan bahwa tanpa penambahan inhibitor memiliki nilai *mean* sebesar 2359,0 nm, sedangkan dengan penambahan inhibitor ekstrak sabut sawit memiliki nilai *mean* sebesar 1632,8 nm,

penambahan inhibitor asap cair cangkang sawit memiliki nilai *mean* sebesar 2060,8 nm, dan penambahan inhibitor campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit memiliki nilai *mean* sebesar 799,0 nm.

## **5.2 Saran**

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran yaitu perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak  $\text{CaSO}_4$  dengan menambah variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dengan metode yang sama. Selain itu, perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut tentang ekstrak sabut sawit, asap cair cangkang sawit, dan campuran ekstrak sabut sawit dengan asap cair cangkang sawit sebagai inhibitor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Addicott, J. F., Aho, J. M., Antolin, M. F., Padilla, D.K., Richardson, J. S., and Soluk, D. A. 1987. Ecological Neighborhoods : Scaling Environmental Patterns. *Oikos*. **49**: 340-346.
- Agusta, A. 2000. *Minyak Atsiri Tumbuhan Tropika Indonesia*. Penerbit ITB. Bandung.
- Al-Deffeeri, N. S. 2006. Heat Transfer Measurement as a Criterion for Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plants in Kuwait. *Desalination*. **204**: 423-436.
- Ahmad, M. M. 2006. Anti Inflammatory Activities of *Nigella sativa* Linn. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. **29**(1): 10-19.
- Ambaro, F. Y., Darusman, F., dan Darusman, M. L. 2020. Prosedur Ekstraksi Maserasi Daun Bidara Arab (*Ziziphus spina-christi* L.) Menggunakan Pelarut Etanol dan Air. *Prosiding Farmasi UNISBA*. **6**(2): 890-893.
- Amjad, Z. 1995. Kinetics of Crystal Growth of Calcium Sulfate Dihydrate, the Influence of Polymer Composition, Molecular Weight, and Solution pH. *Canadian Journal of Chemistry*. **66**: 1529-1536.
- Amjad, Z. and Koutsoukos, P. G. 2014. Evaluation of Maleic Acid Based Polymers as Scale Inhibitors and Dispersants for Industrial Water Applications. *Desalination*. **335**: 5563.
- Amor, M. B. and Tlili, M. 2013. Prevention of the Scaling in Water Distribution System. *Journal MATEC Web of Conferences*. **3**: 01017.
- 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.
- Arya. 2008. *Spektrofotometer Infra Merah*.  
<https://tomod4chi.wordpress.com/2008/06/08/spektrofotometer-infra-merah/>.  
 Diakses pada tanggal 4 April 2023.

- Azimi, G. and Papangelakis, V. G. 2011. Mechanism and Kinetics of Gypsum Anhydrite Transformation in Aqueous Electrolyte Solutions. *Hydrometallurgy*. **108**: 122-129.
- Basim, O. H, Graham, J. N., Peter, J., and Richard, A. C. 2012. The Effects of Temperature and Hydrodynamics on the Crystallization Fouling Under Cross Flow Conditions. *Journal Elsevier Applied Thermal Engineering*. **36**: 210-218.
- Basim, O. H., Vinous, M. H., and Fadya, F. 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.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G. S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scales and Deposits*. 701-720.
- Dahlana, A. 2015. Studi Kajian Senyawa Pada Asap Cair dari Sekam Padi. *Prosiding Seminar*. Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat. Kalimantan Selatan.
- Darmadji, P. 1996. Aktivitas Anti Bakteri Asap Cair yang Diproduksi dari Berbagai Macam Limbah Pertanian. *Agritech*. **16**(4): 19-22.
- Darmadji, P. 2002. Optimasi Pemurnian Asap Cair dengan Metode Redistilasi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. **13**(3): 267-271.
- Darmapatni, K. A. G., Basori, A., dan Suaniti, N. M. 2016. Pengembangan Metode GCMS untuk Penetapan Kadar Acetaminophen pada Spesimen Rambut Manusia. *Jurnal Biosains Pascasarjana*. **3**(18): 62-69.
- David, G. W. 2005. *Analisis Farmasi Edisi Kedua*. EGC. Jakarta.
- DigitalClick. 2024. <https://energibiomassa.com/2024/01/09/spec-cangkang-sawit/>. Diakses pada tanggal 19 Agustus 2024.
- Ditjen POM. 2000. *Parameter Standar Umum Ekstrak Tumbuhan Obat*. Cetakan Pertama. Departemen Kesehatan RI. Jakarta.
- Fauzi, Y., Widyastuti, Y. E., Sastyawibawa, I., dan Hartono, R. 2002. *Budidaya Pemanfaatan dan Analisa Usaha dan Pemasaran Kelapa Sawit*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Fauziati. 2014. Pemanfaatan Serbuk Arang Cangkang Sawit sebagai Scrub pada Sabun Mandi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. **8**(16): 133-140.

- Fauziati, F. 2016. Pemanfaatan Asap Cair dari Cangkang Kelapa Sawit sebagai Bahan Antiseptik Pembersih Tangan. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. **6**(12): 11.
- Fauziati, F. dan Haspiadi, H. 2016. Asap Cair dari Cangkang Sawit sebagai Bahan Baku Industri. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. **9**(2): 177-186.
- Fauziati, F. dan Sampepana, E. 2016. Karakterisasi Komponen Aktif Asap Cair Cangkang Sawit Hasil Pemurnian. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. **9**(1): 64-72.
- Fauziati, Priyatni, A., dan Adiningsih, Y. 2018. Pengaruh Berbagai Suhu Pirolisis Asap Cair dari Cangkang Sawit sebagai Bahan penggumpal Lateks. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, **12**(2): 139-149.
- Fernandez, B. R., Hutajulu, P. E., Pratikha, R. S., dan Tarigan, N. I. 2023. The Effect of Specific Gravity of Clay (Aluminium Hydrosilicate) on Kernel Losses at Claybath Station`s. *Jurnal Rekayasa, Teknologi Proses dan Sains Kimia*. **2**(2).
- Haji, A.G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. **9**(3): 109-116.
- Halimatuddahlia. 2003. Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi. *Laporan Penelitian*. Universitas Sumatera Utara. Medan. 1-8
- Han, Y. S., Hadiko, G., Fuji, M., and Takahashi, M. 2005. Effect of Flow Rate and CO<sub>2</sub> Content on the Phase and Morphology of CaCO<sub>3</sub> Prepared by Bubbling Method. *Journal of Crystal Growth*. **276**(3): 541-548.
- Herman dan Rolly, I. 2018. Pengaruh Abu Cangkang Sawit Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Batubata. *Jurnal Pembangunan Nagari*. **3**(1): 61-74.
- Holysz, L., Szczes, A., and Chibowski, E. 2007. Effect of a Carboxylic Acids on Water and Electrolyte Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. 316: 65-1002.
- Islamiah, S., Rezeki, S., dan Ivontianti, W. D. 2021. Studi Pengaruh Tingkat Kematangan Buah Kelapa Sawit Terhadap Kandungan Asam Lemak Melalui Metode Maserasi. *Rafflesia Journal of Natural and Applied Sciences*. **1**(1): 40-49.
- Jesus, A.A., Almeida, L.C., Silva, E.A., Cardhozo-Filho, L., Egues, S.M.S., Franceschi, E., Fortuny, M., Santos, A.F., Araujo, J., Sousa, E. M. B. D., and Dariva, C. 2013. Extraction of Palm Oil Using Propane, Ethanol and Its Mixtures as Compressed Solvent. *Journal Supercritical Fluids*. **81**: 245–253.

- Kamulyan, B. 2008. Isolasi Bahan Bakar (*Biofuels*) dari Tar-Asap Cair Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa. *Tesis*. FMIPA Universitas Gadjah Mada. Sembawa.
- Kennedy, J. I., Evans, M., and Robinson, F. C. J. 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.
- Khormali, A. and Petrakov, D.G. 2016. Laboratory Investigation of a New Scale Inhibitor for Preventing Calcium Carbonate Precipitation in Oil Reservoirs and Production Equipment. *Petroleum Science*. **13**(2): 320-327.
- Koirewoa, Y. A., Fatimawali, dan Indayany, W. 2012. Isolasi dan Identifikasi Senyawa Flavonoid dalam Daun Beluntas (*Pluchea indica L.*). *Jurnal Pharmacon*. **1**(1): 47-52.
- Kumar, S., Naiya, T. K., and Kumar, T. 2018. Developments in Oilfield Scale Handling Towards Green Technology-a Review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. **169**: 428-444.
- Kurniawati, I., Maftuch, dan Hariati, A.M. 2016. Penentuan Pelarut dan Lama Ekstraksi Terbaik pada Teknik Maserasi *Gracilaria sp.* Serta Pengaruhnya Terhadap Kadar Air dan Rendemen. *Jurnal Ilmu Perikanan*. **7**(2): 72-77.
- Lestari, D. E. Sunaryo, G. E., Yulianto, Y. E., Alibasyah, S., dan Utomo, S. B. 2004. Kimia Air Reaktor Riset G. A. Siwabessy. *Makalah Penelitian P2TRR dan P2TKN BATAN*. Serpong.
- Lestari, Y. I., Indiawati, N., dan Harlia, H. 2015. Aktivitas Antibakteri Asap Cair Tandan Kosong Sawit *Grade 2* yang Sebelumnya Diadsorpsi Zeolit Teraktivasi. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. **4**(4): 45-52.
- Lusi, L. 2011. *Cara Mengetahui Ukuran Suatu Partikel*. Nanotech Indonesia.
- Maley, M. 1999. Inhibition of Calcite Nucleation and Growth Using Phoshonate. *Thesis*. Curtin University of Technology Western Australia. Australia.
- Mariana, D., Doroftei, F., Simionescu, B. C., and Mihai, M. 2014. Calcium Carbonate Microparticle Growth Controlled by a Conjugate Drug-Copolymer and Crystallization Time. *Acta Crystallographica Section B: Structural Science, Crystal Engineering and Materials*. **70**(2): 227-235.
- Menik, S. 2010. Karakterisasi Cangkang Kerang Menggunakan XRD dan X-ray Physic Basic Unit. *Jurnal Netrino*. **3**(1): 32-34.

- Miskiyah, M. dan Juniawati, J. 2014. Kemampuan Cuka Air Kelapa dalam Menghambat Pertumbuhan Bakteri *Eschericia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*. **1**(2): 741-746.
- Moros, J., Garrigues, S., and Guardia, M. 2010. Vibrational Spectroscopy Provide a Green Tool for Multicomponent Analysis. *Trends in Analytical Chemistry*. **27**(9): 578-591.
- Mpelwa, M. and Tang, S. F. 2019. State of the Art of Synthetic Threshold Scale Inhibitors for Mineral Scaling in the Petroleum Industry: a Review. *Petroleum Science*. **16**(9): 830-49.
- Mufrodi, Z., Saputro, M. A., Winarno, J., Megaprastio, B., dan Syamsiro, M. 2021. Produksi Bahan Bakar Minyak Alternatif Dari Pirolisis Plastik Polipropilen dan Oli Bekas. *Seminar Nasional Diseminasi Hasil Penelitian*. **1**(1): 317–325.
- 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.
- Munson, J. W. 1991. *Analisis Farmasi Metode Modern Parwa B*. Universitas Airlangga. Surabaya. 130-145.
- Muzakir, A. 2012. *Karakteriksasi Material, Prinsip, dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia, Cetakan Pertama*. Upi Press. Bandung.
- Nikmatin, S., Maddu, A., Purwanto, S., Mandang, T., dan Purwanto, A. 2011. Analisa Struktur Mikro Pemanfaatan Limbah Kulit Rotan Menjadi Nanopartikel Selulosa Sebagai Pengganti Serat Sintetis. *Jurnal Biofisika*. **7**(1): 41-49.
- Novita, S. A., Santosa, S., Nofaldi, N., Andasuryani, A., dan Fudholi, A. 2021. Artikel Review: Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*. **4**(1): 53-67.
- Nugoho, A. 2019. *Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit*. Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin.
- Olajire, A. A. 2015. a Review of Oilfield Scale Management Technology for Oil and Gas Production. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. **135**: 723-737.
- Pahan, I. 2008. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit: Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir*. Penebar Swadaya.

- Panjinugroho, F. D. 2016. Pengaruh Temperatur dan Zat Aditif Asam Sitrat 20 Ppm pada Pembentukan Kristal  $\text{CaSO}_4$  (Kalsium Sulfat). *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Semarang.
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., and Engel, R. G. 2006. Introduction to Organic Laboratory Techniques : a Microscale Approach 4ed. *Brooks/Cole Laboratory Series for Organic Chemistry*. USA.
- Pratiwi I. 2009. Uji Antibakteri Ekstrak Kasar Daun (*Acalyph haindica*) Terhadap Bakteri (*Salmonella cholerasuis*) dan (*Salmonella typhimurium*). *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Prayudo, A., Novian, O., Setyadi, dan Antaresti. 2015. Koefisien Transfer Massa Kurkumin dari Temulawak. *Jurnal Widya Teknik*. **14**(1): 26-31.
- Rabizadeh, T., Caroline, Reacock, and Liane G. B. 2014. Carboxylic Acid : Effective for Calcium Sulfate Precipitation. *Mineralogical Magazine*. **78**(6): 1465-1472.
- Rahmania, Y. 2012. Studi Pendahuluan Ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma Cacao L.*) dan Nalco 72990 sebagai Inhibitor Pembentuk Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). *Skripsi*. Univesritas Lampung.
- Rahmasita, M. E. 2017. Analisa Morfologi Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*. **6**(2): 2337-3520.
- Reskika, A. 2011. Evaluasi Potensi Rumput Laut Coklat (*Phaeophyceae*) dan Rumput Laut Hijau (*Chlorophyceae*) Asal Perairan Takalar Sebagai Antibakteri *Vibrio spp.* *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Rewle, A. 2010. Basic principle of Particle Size Analysis. *Technical Paper of Malvern Instruments*. Worcestershire. United Kingdom.
- Riadi, M. 2011. *Asap Cair (Liquid Smoke)*.  
<https://www.kajianpustaka.com/2020/05/asap-cair-liquid-smoke.html>. Diakses pada tanggal 8 Agustus 2023.
- Ridhuan, K., Mafruddin, dan Rasyid, A. A. 2020. Optimasi Pembakaran Menyeluruh Pada Reaktor Pirolisis dalam Menghasilkan Bioarang dan Asap Cair. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*. **9**(1): 114-123..
- 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.

- Rohman, A. 2014. *Spektroskopi Inframerah dan Kemometrika untuk Analisis Farmasi*. Yogyakarta. Pustaka Pelajar.
- Rosadinah, N. 2021. Studi Penambahan Limbah Cair Tempe sebagai Inhibitor Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) Menggunakan Metode Seeded Experiment. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Sa`adah, H. dan Nurhasnawati, H. 2015. Perbandingan Pelarut Etanol Dan Air Pada Pembuatan Ekstrak Umbi Bawang Tiwai (*Eleutherine Americana Merr*) Menggunakan Metode Maserasi. *Jurnal Ilmiah Manuntung*. **1**(2): 149-153.
- Salimin, Z., dan Gunandjar. 2007. Penggunaan EDTA Sebagai Pencegah Timbulnya Kerak Pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair. *Prosiding HALIPDIPTN*. Pustek Akselerator dan Proses Bahan BATAN. Yogyakarta.
- Sarwendah, M., Feriadi, Wahyuni, T., dan Arisanti, T. N. 2019. Pemanfaatan Limbah Komoditas Perkebunan Untuk Pembuatan Asap Cair. *Jurnal Littri*. **25**(1): 22-30.
- Sembiring, B. 2007. Teknologi Penyiapan Simplisia Terstandar Tanaman Obat. *Warta Puslitbangbun*. **13**(2): 4-8.
- 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.
- Suharso, Buhani, and Suhartati, T. 2009. The Role of C-Methyl-4,10,16,22 Tetrametoxo Calix[4] Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) 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.
- Suharso, Buhani, dan Aprilia, L. 2013. Pengaruh Senyawa T Kaliksarena Dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. Bandar Lampung. 405-503.
- 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, Yuwono, S. D., and Tugiyono. 2017. Inhibition of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment*. **68**: 32-39.
- Suharso, Setiososari, E., Kiswandono, A. A., Buhani, and Satria, H. 2019. Liquid Smoke of Coconut Shell as Green Inhibitor of Calcium Carbonate Scale Formation. *Desalination and Water Treatment*. **169**: 29-37.
- Sujatno, A. 2015. *Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium*. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju. PSTBM-BATAN.
- Sulhatun. 2012. Pemanfaatan Asap Cair Berbasis Cangkang Sawit Sebagai Bahan Pengawet Alternative. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. **1**: 91-100.
- Sumpono. 2018. Uji Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri Asap Cair Tempurung Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains*. 171-178.
- Sunarko. 2009. *Budidaya dan Pengolahan Kebun Kelapa Sawit dengan Sistem Kemitraan*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Supratman, U. 2010. *Ekuilibrium Penentuan Senyawa Organik*. Padjajaran. Bandung.
- Suwandi, T. 2012. Pengembangan Potensi Antibakteri Kelopak Bunga *Hibiscus sabdariffa L.* (Rosela) terhadap *Streptococcus sanguinis* Penginduksi *Gingivitis* Menuju Obat Herbal Terstandart. *Disertasi*. Universitas Indonesia.
- Tambun, R., Limbong, H. P., Pinem, C., dan Manurung, E. 2017. Pengaruh Ukuran Partikel, Waktu dan Suhu Pada Ekstraksi Fenol dari Lengkuas Merah. *Jurnal Teknik Kimia USU*. **5**(4): 53-56.
- Tijing, L. D., Woo. Y. C., Choi, J. S., Lee, S. Kim, S. H., and Shon, H. K. 2015. Fouling and Its Control in Membrane Distillation-a Review. *Journal of Membrane Science*. **475**: 215-244.
- Totoki S., Wada Y., Moriya N., and Shimaoka H. 2007. DEP Active Grating Method: a New Approach for Size Analysis of Nano-Sized Particles. *Shimadzu Review*. **62**: 173-79.
- Utami, K. 2010. *Pemurnian Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit Menggunakan Distilasi Bertingkat dan Evaluasi Kimia Serta Karakteristik Warna*. Program Studi Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Vendamawan, B. 2016. *Pembentukan Kerak  $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_4$  dengan Konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  2000 Ppm pada Suhu 30 °C dan 40 °C dalam Pipa Beraliran Laminar*. Universitas Muhammadiyah Semarang. Semarang.
- Verdiana, M., Widarta, I. W. R., dan Permana, I. D. G. M. 2018. Pengaruh Jenis Pelarut pada Ekstraksi Menggunakan Gelombang Ultrasonik Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Buah Lemon (*Citrus limon (Linn.) Burm F.*). *Jurnal ITEPA*. **7**(4): 213.
- Wahyuni, I. dan Fathoni, R. 2019. Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Variasi Waktu Aktivasi. *Jurnal Chemurgy*. **3**(1): 11.
- Wang, Y., Moo, Y. X., Chen, C., Gunawan, P., and Xu, R. 2010. Fast Precipitation of Uniform  $\text{CaCO}_3$  Nanospheres and their Transformation to Hollow Hydroxyapatite Nanospheres. *Journal of Colloid and Interface Science*. **352**(2): 393-400.
- Webb, P. A. 2006. Interpretation of Particle Size Reported by Different Analytical Techniques. *Micromeritics Instrument Corporation*. **67**(9): 548-550.
- Weijnen, M. P. C., Marchee, W. G. J. and Rosmalen, G. M. V. 1983. a Quantification of the Effectiveness of an Inhibitor on the Growth Process of a Scalant. *Desalination*. **47**: 81-92.
- Wildebrant, C. 2007. Effect of Process Parameters and Antiscalant on Scale Formation in Horizontal Tube Falling Film Evaporator. *Desalination*. **204**(1): 448-463.
- Wilson, I. D. 2000. *Encyclopedia of Newyork Separation Science*. Academic-Press.
- Yuliningtyas, A. dan Kusmantono, B. 2016. Optimasi Volume Pelarut dan Waktu Maserasi Pengambilan Flavonoid Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi L.*). *Jurnal Teknik Kimia*. **10**(2):58-64.
- Yulistiani, R. 2008. *Monograf Asap Cair Sebagai Bahan Pengawet Alami pada Produk Daging dan Ikan. Cetakan Pertama Edisi 1*. UPN Veteran. Surabaya.