

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *FOOD
GRADE (GRADE 2)* SEBAGAI INHIBITOR KERAK MAGNESIUM
KARBONAT (MgCO_3) MENGGUNAKAN METODE *SEEDED
EXPERIMENT***

(Skripsi)

Oleh

**Novani Aludra Zafira
NPM 1917011079**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *FOOD GRADE (GRADE 2)* SEBAGAI INHIBITOR KERAK MAGNESIUM KARBONAT (MgCO_3) MENGGUNAKAN METODE *SEEDED EXPERIMENT*

Oleh

Novani Aludra Zafira

Pembentukan kerak merupakan masalah yang sering ditemukan pada pipa industri, salah satunya industri air minum. Keberadaan kerak seperti MgCO_3 pada pipa, dapat menghambat laju alir pipa, adanya permasalahan memerlukan solusi untuk mengotimalkan kinerja pada pipa. Oleh karena itu, dalam penelitian ini telah digunakan asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* (AC) untuk menghambat pertumbuhan kerak MgCO_3 menggunakan metode *seeded experiment*. Larutan pertumbuhan MgCO_3 0,10; 0,15; 0,20 dan 0,25 M diujikan pada inhibitor AC dengan konsentrasi 100, 150, 200, dan 250 ppm. Nilai presentase efektifitas yang paling tinggi yaitu pada inhibitor dengan konsentrasi 250 ppm terhadap larutan pertumbuhan dengan konsentrasi 0,2 M sebesar 74,28 %. Hasil karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) setelah ditambahkan inhibitor morfologi kristal MgCO_3 menjadi lempengan kecil yang tidak beraturan. Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan adanya penurunan intensitas setelah penambahan inhibitor dengan fase hidromagnesit. Analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan penurunan ukuran partikel kristal MgCO_3 setelah penambahan inhibitor yakni nilai rata-rata (*mean*) dari 28,10 μm menjadi 17,12 μm dan nilai tengah (*median*) dari 14,41 μm menjadi 11,01 μm .

Kata kunci: asap cair, inhibitor, MgCO_3 , pembentukan kerak

ABSTRACT

STUDY OF THE ADDITION OF FOOD GRADE (GRADE 2) COCONUT SHELL LIQUID SMOKE AS A MAGNESIUM CARBONATE ($MgCO_3$) DECAL INHIBITOR USING THE SEEDED EXPERIMENT METHOD

By

Novani Aludra Zafira

Scale formation is a problem that is often found in industrial pipes, one of which is the drinking water industry. The existence of scale such as $MgCO_3$ in the pipe, can inhibit the flow rate of the pipe, the problem requires a solution to optimize the performance of the pipe. Therefore, in this study, liquid smoke from coconut shell Food Grade (Grade 2) (AC) was used to inhibit the growth of $MgCO_3$ scale using the seeded experiment method. Growth solution $MgCO_3$ 0,10; 0,15; 0,20 and 0,25 M were tested on AC inhibitors with concentrations of 100, 150, 200 and 250 ppm. The highest percentage of effectiveness was the inhibitor with a concentration of 250 ppm against a growth solution with a concentration of 0.2 M of 74.28%. The results of the characterization using Scanning Electron Microcopy (SEM) after adding an inhibitor of $MgCO_3$ crystal morphology became small irregular. Analysis using X-Ray Diffraction (XRD) showed a decrease in intensity after adding the inhibitor with the hydromagnesite phase. Analysis using the Particle Size Analyzer (PSA) showed a decrease in the particle size of $MgCO_3$ crystals after adding inhibitors, namely the average value (mean) from 28.10 μm to 17.12 μm and the median value (median) from 14.41 μm to 11.01 μm .

Key word: inhibitor, liquid smoke, $MgCO_3$, scale formation

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA
FOOD GRADE (GRADE 2) SEBAGAI INHIBITOR KERAK
MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$) MENGGUNAKAN METODE
SEDED EXPERIMENT**

Oleh

NOVANI ALUDRA ZAFIRA

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul : STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR
TEMPURUNG KELAPA *FOOD GRADE (GRADE*
2) SEBAGAI INHIBITOR KERAK MAGNESIUM
KARBONAT ($MgCO_3$) MENGGUNAKAN
METODE *SEDED EXPERIMENT*

Nama Mahasiswa : Novani Aludra Zafira

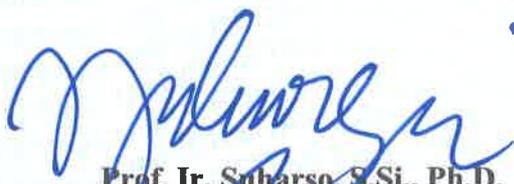
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011079

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing


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


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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP 19744061120003100

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

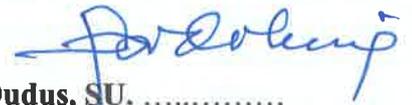
Ketua : **Prof. Ir. Suharso, Ph.D.**



Sekretaris : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Drs. Hardoko Insan Qudus, SU.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP 1971100120050110002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 Juni 2023**

**LEMBAR PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Novani Aludra Zafira
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011079
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengann sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul **“Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa *Food Grade* (*Grade 2*) Sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar Lampung, 16 Juni 2023

kan,

Zafira

NPM. 1917011079

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Novani Aludra Zafira, lahir di Bandar Lampung, pada tanggal 09 November 2001. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang merupakan putri dari pasangan Bapak Nusirwan Mz dan Ibu Rita Herwiyani Priandari *Rahimahallah*. Penulis mulai menempuh pendidikan di TK TEL (2005-2007), kemudian melanjutkan pendidikan di SD TEL (2007-2013). Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di PP Islamic Centre BinBaaz (2013-2016) dan Sekolah Menengah Atas di MAN INSAN CENDEKIA OKI (2016-2019). Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai Mahasiswi Jurusan Kimia Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Nasional).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi dan bergabung menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) Universitas Lampung (2020), Staff Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Universitas Lampung (2019-2020), anggota *Chemistry English Club* (2020), menjadi mahasiswa magang pada salah satu *Start Up* yang berlokasi di Surabaya (2021), dan menjadi salah satu *Student Intern* SDGs Centre Unila (2022). Pada bulan Januari-Februari 2022 penulis telah melaksanakan KKN di Desa Beringin Jaya, Pagaralam, Sumatera Selatan, dan telah menyelesaikan kegiatan PKL di PT Pertamina Hulu Rokan Zona 4 Prabumulih *Field* pada bulan Juni-Juli 2022. Pada bulan Desember tahun 2022 tepatnya pada semester 7, penulis berkesempatan menjadi asisten praktikum Kimia Anorganik II, dan pada tahun 2023 penulis telah menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang berjudul “Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa *Food*

*Grade (Grade 2) Sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat (MgCO₃)
Menggunakan Metode Seeded Experiment”.*

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya".

(Al-Baqarah: 286)

"Jangan menunda pekerjaan hari ini sampai besok, jangan sampai pekerjaan menumpuk dan kamu tidak akan mencapai apa-apa".

(Umar Bin Khattab)

"Bangun kesuksesan dari kegagalan. Keputusan dan kegagalan adalah dua batu loncatan yang paling baik menuju kesuksesan".

(Dale Carnegie)

SANWACANA

Puji dan syukur kehadiran Allah *Ta'ala* atas rahmat dan rezeki-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa *Food Grade (Grade 2)* Sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*”. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah *Ta'ala* atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan kerja praktik ini.
2. Ibu Rita Herwiyani Priandari *Rahimahallah* yang sudah tenang di sisi-Nya, terimakasih atas segala limpahan kasih sayang tak terhingga, semangat, dan afirmasi positif yang dilimpahkan kepada penulis. Semoga Mama ditempatkan di surga-Nya.
3. Bapak Nusirwan Mz dan Adik Rafie Altaf Pramantya sebagai sumber penyemangat penulis atas doa, kasih sayang, pengorbanan, nasihat dan dukungan yang selama ini selalu diberikan kepada penulis. Semoga selalu dilimpahkan kesehatan serta panjang umur oleh Allah.
4. Eyang Uti *Rahimahallah* dan Eyang Kakung atas segala kebaikan dan perhatian yang diberikan kepada penulis. Semoga Allah membalas kebaikannya.
5. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph. D., selaku dosen pembimbing I atas seluruh ilmu, bimbingan, saran, dedikasinya dan kebaikannya dalam memberikan bimbingan, saran dan kritik sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.

Semoga Allah membalas kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik di dunia maupun di akhirat kelak.

6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, dan kemudahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah membalas kebaikan Ibu dan diberikan yang terbaik di dunia maupun di akhirat kelak.
7. Bapak Prof. Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S., selaku dosen pembahas yang memberikan bimbingan, saran, kritik dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah membalas kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik di dunia maupun di akhirat kelak.
8. Ibu Dra. Aspita Laila, M.S., selaku pembimbing akademik atas segala kebaikan, saran, dan nasihat kepada penulis selama masa kuliah.
9. Bapak Mulyono, Ph. D., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
10. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si, M. Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
11. Seluruh dosen Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, nasihat dan pengalaman baiknya.
12. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas dukungan dan bantuan kepada penulis.
13. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si. selaku Kalab Anorganik/Fisik dan Mbak Liza Apriliya, S.Si selaku laboran yang menyediakan alat di laboratorium dan kemudahan dalam mengurus berkas, serta kebaikannya semoga selalu diberkahi oleh Allah.
14. Teman-temanku ABCDEFGHIJKLOVEYOU Dayu, April, Cici, Moren, Apip, Barep, Isro atas segala dukungan, semangat, perhatian dan waktu yang diberikan kepada penulis.
15. Teman-temanku Suharso's Research 2019 Alyaa dan Maudi atas segala dukungan, semangat, perhatian dan waktu yang diberikan kepada penulis.
16. Kakak tingkatku Kak Putri Ayu dan Kak Nurul Rosadinah atas segala kebaikan dan ilmunya yang telah diberikan kepada penulis.

17. Teman-teman Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik atas segala kebaikannya.
18. Teman-teman Kimia 2019 atas segala kebaikan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
19. Teman-teman KKN Beringin Jaya atas segala kebaikan dan semangatnya kepada penulis.
20. Almamater tercinta Universitas Lampung.
21. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini jauh dari kata sempurna, besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua serta dapat memberikan saran yang membangun bagi penulis untuk lebih baik kedepannya.

Bandar Lampung, 16 Juni 2023

Penulis

Novani Aludra Zafira

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pengendapan Senyawa Anorganik	6
2.2 Kerak.....	7
2.3 Magnesium Karbonat ($MgCO_3$)	8
2.4 Mekanisme Pembentukan Kerak	10
2.5 Faktor Pembentukan Kerak	13
2.5.1 Kristalisasi	14
2.5.2 Kelarutan Endapan.....	15
2.5.3 Derajat Lewat Jenuh	16
2.6 Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak $MgCO_3$	17
2.6.1 Pengendalian pH.....	17
2.6.2 Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air.....	17
2.6.3 Penggunaan Inhibitor Kerak	17
2.7 Mekanisme Penghambatan Kerak	19
2.7.1 Penghambat Ambang Batas	20
2.7.2 <i>Khelat</i>	20
2.7.3 Distorsi Kristal.....	21

2.7.4 Dispersi Kristal	21
2.8 Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i>	22
2.9 Metode <i>Seeded Experiment</i>	24
2.10 Analisis dan Karakterisasi Kerak MgCO ₃	25
2.10.1 Spektrofotometer <i>Fourier Transform Infra Red (FT-IR)</i>	25
2.10.2 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	28
2.10.3 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	29
2.10.4 <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	31
2.10.5 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	33
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat.....	35
3.2 Alat dan Bahan	35
3.3 Prosedur Kerja	36
3.3.1 Pembuatan Inhibitor.....	36
3.3.2 Pembuatan Bibit Kristal.....	36
3.4 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ .	37
3.4.1 Penentuan Laju Pertumbuhan MgCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	37
3.4.2 Penentuan Laju Pertumbuhan MgCO ₃ dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	38
3.5 Analisa Data.....	38
3.6 Diagram Alir Penelitian	40
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pembuatan dan Analisis Inhibitor dari Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i>	41
4.2 Uji Ketahanan Larutan Inbibitor	42
4.3 Analisis Kerak MgCO ₃	44
4.4 Analisis Inhibitor menggunakan Spektrofotometer Inframerah (IR).....	45
4.5 Analisis Komponen Senyawa Kimia Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i> menggunakan GC-MS	46

4.6 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor pada Beberapa Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	49
4.6.1 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ Dengan Penambahan Inhibitor pada Beberapa Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	51
4.6.2 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Inhibitor AC pada Larutan Pertumbuhan 0,10 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	55
4.6.3 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Inhibitor AC pada Larutan Pertumbuhan 0,15 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	56
4.6.4 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Inhibitor AC pada Larutan Pertumbuhan 0,20 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	58
4.6.5 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Inhibitor AC pada Larutan Pertumbuhan 0,25 M dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	59
4.7 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Kristal MgCO ₃ Menggunakan PSA	62
4.8 Karakterisasi Permukaan Kerak MgCO ₃ Menggunakan <i>Microscopy Scanning Electron (SEM)</i>	63
4.9 Karakterisasi Struktur Kerak MgCO ₃ Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	65

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	68
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	78

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hasil analisis GC-MS asap cair <i>Food Grade</i>	24
2. Komponen-komponen asap cair tempurung kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i> ...	48
3. Komponen-komponen asap cair tempurung kelapa (<i>grade 2</i>).....	47
4. pH konsentrasi inhibitor asap cair tempurung kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i> .	51
5. Nilai pH larutan pertumbuhan $MgCO_3$ sebelum dan sesudah penambahan inhibitor AC (asap cair tempurung kelapa <i>food grade (grade 2)</i>).....	52
6. Perbandingan presentase efektivitas pada variasi larutan pertumbuhan	54
7. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,10 M	56
8. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,15 M	57
9. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,20 M	59
10. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,25 M	60
11. Data persentase efektivitas inhibitor AC pada penambahan inhibitor AC 250 ppm.....	61
12. Intensitas pola difraksi $MgCO_3$ tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor AC 250 ppm.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Representasi skematis proses pertukaran panas	7
2. Endapan kerak magnesium karbonat (a) dalam Pipa (b) permukaan <i>heat exchangers</i>	10
3. Nukleasi homogen	10
4. Nukleasi heterogen	11
5. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air	12
6. Proses pembentukan kristal	15
7. Diagram temperatur– konsentrasi	16
8. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan	18
9. Mekanisme pencegahan kerak dengan penghambatan ambang batas, dispersi, dan modifikasi kristal	22
10. Skema alat spektroskopi FT-IR.....	27
11. Skema alat instrumentasi GC-MS	28
12. Kromatogram asap cair tempurung kelapa	30
13. Skema bagan SEM	30
14. Morfologi kerak MgCO ₃ tanpa penambahan inhibitor (A) dan dengan penambahan inhibitor (B)	30
15. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf	32

16. Distribusi ukuran partikel $MgCO_3$	32
17. Analisis XRD $MgCO_3$	32
18. Diagram alir penelitian.....	40
19. Hasil pengenceran (a) Asap cair tempurung kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i> (b) Inhibitor AC 100 ppm (c) Inhibitor AC 150 ppm (d) Inhibitor AC 200 ppm (e) Inhibitor AC 250 ppm setelah didiamkan selama 2 bulan	42
20. Asap cair tempurung kelapa (<i>grade 2</i>) (a), <i>Food Grade (Grade 2)</i> (b) Asap cair tempurung kelapa (<i>grade 2</i>) setelah didiamkan selama 2 minggu.....	43
22. Perbandingan kerak $MgCO_3$ 0,10 M (a) tanpa inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor AC dengan konsentrasi 100 ppm.	44
23. Spektrum FTIR asap cair tempurung kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i>	45
24. Kromatogram asap cair tempurung kelapa <i>Food Grade (Grade 2)</i>	46
25. Grafik laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$ tanpa penambahan inhibitor	50
26. Laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$ dengan konsentrasi (a) 0,10, (b) 0,15, (c) 0,20 dan (d) 0,25 M dengan penambahan variasi perbandingan konsentrasi AC.....	53
27. Grafik laju pertumbuhan kristal $MgCO_3$ 0,10 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 100, 150, 200, 250 ppm.....	55
28. Grafik laju pertumbuhan kristal $MgCO_3$ 0,15 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 100, 150, 200, 250 ppm.....	57
29. Grafik laju pertumbuhan kristal $MgCO_3$ 0,20 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 100, 150, 200, 250 ppm.....	58
30. Grafik laju pertumbuhan kristal $MgCO_3$ 0,25 M dengan variasi konsentrasi inhibitor AC 100, 150, 200, 250 ppm.....	60
31. Distribusi ukuran partikel $MgCO_3$	61
32. Morfologi kerak $MgCO_3$ pada konsentrasi 0,10 M dengan perbesaran 3000x tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor 250 ppm (b).....	64
33. Grafik XRD kristal $MgCO_3$ pada larutan pertumbuhan 0,10 M tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor AC 250 ppm.....	655

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pangan tersusun dari berbagai peralatan dalam proses produksi suatu produk, salah satu yang sering digunakan adalah peralatan berbentuk pipa. Pipa memiliki fungsi sebagai tempat mengalir atau berpindahnya fluida dari tempat satu menuju tempat lainnya. Fluida merupakan zat yang berupa air, gas atau *vapour* dengan suhu tertentu. Fungsi dari peralatan tersebut yaitu untuk proses pasteurisasi, pengemasan minuman, dan lain sebagainya (Krisolita, 2021). Pipa merupakan salah satu komponen konstruksi yang selalu digunakan untuk berbagai keperluan industri, terutama perusahaan air minum yang berfungsi sebagai transportasi aliran fluida dari satu area ke area lainnya (Sari dan Bayuseno, 2015).

Permasalahan yang dihadapi pada sebagian besar peralatan industri terutama pada dinding-dinding permukaan transfer panas dan permukaan alat-alat evaporasi, yaitu terjadinya penumpukan kerak. Penumpukan ini sangat tidak diinginkan karena mengurangi efisiensi dan mempersempit diameter pipa-pipa proses aliran fluida. Di samping itu, kerak yang menumpuk pada pipa-pipa saluran dapat mengakibatkan gangguan yang serius pada pengoperasian, karena penumpukan kerak ini dapat mengakibatkan terjadinya penyumbatan, kerusakan dan berujung kepada kebocoran (Suharso *et al.*, 2007).

Terganggunya proses aliran fluida ini menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga memungkinkan terjadinya pipa rusak bahkan pecah sehingga semua itu akan meningkatkan biaya produksi (Asnawati, 2001). Akibatnya biaya produksi menjadi mahal karena harus

memperbaiki dan mengganti komponen peralatan yang rusak. Selain itu produksi akan terganggu akibat perbaikan peralatan yang rusak (Suharso dan Buhani, 2011).

Kerak merupakan endapan yang terbentuk dari proses kristalisasi dan pengendapan mineral yang terkandung dalam suatu zat. Pembentukan kerak biasanya terjadi di bidang-bidang yang bersentuhan secara langsung dengan suatu fluida selama proses produksi, seperti alat penukar panas (*heat exchangers*), rangkaian pompa dalam sumur (*downhole pump*), pipa produksi, pipa selubung, pipa alir, serta peralatan produksi lainnya. Kerak merupakan senyawa mineral berupa kalsium karbonat, kalsium sulfat, magnesium karbonat dan dalam keadaan tertentu disertai pula unsur-unsur lain yaitu mineral besi serta butiran pasir (Crabtree *et al.*, 1990). Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut diantaranya kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, temperatur, dan kehadiran pengotor juga aditif (Muryanto *et al.*, 2012).

Dari semua jenis kerak yang disebutkan kerak magnesium karbonat (MgCO_3) paling banyak dijumpai. Kerak magnesium karbonat (MgCO_3) adalah tumpukan keras dari bahan anorganik dalam bentuk ion Mg^{2+} dan CO_3^{2-} terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Padatan akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, kemudian membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003).

Beberapa metode yang pernah dilakukan untuk mencegah terbentuknya kerak pada peralatan-peralatan industri yaitu dengan menurunkan pH larutan melalui penambahan asam, penggunaan senyawa-senyawa anorganik (Zhang *et al.*, 2000), asam amino (Manoli *et al.*, 2003), polimer-polimer yang larut dalam air, penggunaan inhibitor (*scale inhibitor*) (Suharso dkk., 2013), dan senyawa-senyawa organik lain (He *et al.*, 1999). Selain beberapa metode di atas, pembentukan kerak dapat dikontrol dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air, akan tetapi penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang cukup tinggi (Halimatuddahlia, 2003). Salah satu cara untuk mencegah terbentuknya kerak MgCO_3 di dalam pipa adalah dengan menggunakan inhibitor kimia

yang dapat mengontrol pertumbuhan kristal, dan mengubah morfologi (Mullin, 2004).

Salah satu prinsip kerja dari inhibitor kerak menurut Suharso and Buhani (2011) yaitu pembentukan senyawa kompleks (kelat) antara inhibitor kerak dengan unsur-unsur pembentuk kerak, sehingga ketika senyawa penjebakan yang terbentuk larut dalam air maka kemungkinan pertumbuhan kristal dapat dicegah.

Penggunaan inhibitor merupakan alternatif yang baik karena ramah lingkungan, murah, dan mudah didapat. Efektivitas inhibitor kerak bergantung pada kemampuan sebuah aditif untuk mengganggu langkah-langkah pembentukan kerak, yaitu baik dengan langkah nukleasi atau dengan pertumbuhan kristal (Tzotzi *et al.*, 2007). Metode penambahan inhibitor memiliki tingkat keefektifan yang tinggi, jika ditambahkan dalam konsentrasi yang sangat rendah dan dapat mencegah kerak dalam periode waktu yang lama (Karliana, 2009).

Pada penelitian sebelumnya telah digunakan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor pertumbuhan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) (Kurniawan, 2018), asap cair tempurung kelapa *grade 2* banyak mengandung senyawa fenolik, asam seperti asam asetat, asam butirat, dan asam propionat, serta mengandung karbonil (Darmadji dkk., 1996). Fenol memiliki gugus OH, yang dapat mengikat logam berat seperti Ca^{2+} (Irianty dan Sembiring, 2012). Jenis aditif dari golongan karboksilat seperti asam sitrat, asam oksalat, dan asam benzoat sebagai aditif juga memberikan pengaruh terhadap laju pertumbuhan kristal kerak yang mengakibatkan terjadinya perubahan konduktivitas menjadi lebih besar dan ukuran kristal menjadi lebih kecil (Suharso *et al.*, 2009). Kandungan asam pada asap cair tempurung kelapa *grade 2* menyebabkan kelarutan bahan pembentuk kerak meningkat pada pH yang lebih rendah (Lestari dkk., 2004). Menurut (Jamilatun dan Salamah, 2015) asap cair *food grade* mengandung asam asetat 2,63 %, fenol 54, 58 %, metoksi 11,72 %, benzena 12,86 %, dan asam karbonil 9,93 %. Pada penelitian ini digunakan asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* yang mengandung 61,47 % asam, 23,60 % senyawa fenol dan beberapa

kandungan senyawa asam, fenol, dan senyawa lainnya. Asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* menarik untuk dikembangkan sebagai inhibitor kerak magnesium karbonat (MgCO_3) karena adanya kandungan asam dan fenol yang tinggi. Selain itu, asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* mudah didapat, harganya terjangkau dan ramah lingkungan, sehingga tidak menimbulkan permasalahan baru bagi lingkungan sekitarnya.

Berdasarkan penjabaran di atas, maka dilakukan penelitian ini untuk mempelajari pengaruh penambahan asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* sebagai inhibitor pada pembentukan kerak MgCO_3 dengan menggunakan metode *seeded experiment* pada konsentrasi larutan pertumbuhan dan konsentrasi inhibitor yang berbeda. Pada metode *seeded experiment* ditambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan agar lebih mudah mengamati pertumbuhan kristal MgCO_3 .

Pada penelitian ini, analisis kandungan gugus fungsi inhibitor asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dilakukan menggunakan spektrofotometer IR dan untuk mengetahui komponen senyawa kimia pada inhibitor asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dianalisis menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectrometry*), efektifitas inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kerak MgCO_3 dengan metode *seeded experiment* diketahui berdasarkan analisis data. Analisis morfologi MgCO_3 dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, analisis struktur kerak MgCO_3 menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, sedangkan distribusi ukuran partikelnya diukur menggunakan *Particle Size Analyzer (PSA)*.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari pengaruh penambahan asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* sebagai inhibitor pertumbuhan kerak MgCO_3 .
2. Mengetahui efektifitas asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* sebagai inhibitor kerak MgCO_3 .

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan hasil berupa informasi mengenai pengaruh dari penambahan asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* sebagai inhibitor kerak magnesium karbonat (MgCO_3) yang efektif sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mencegah pengerasan yang terjadi pada peralatan-peralatan industri serta mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan dari proses pengerasan tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

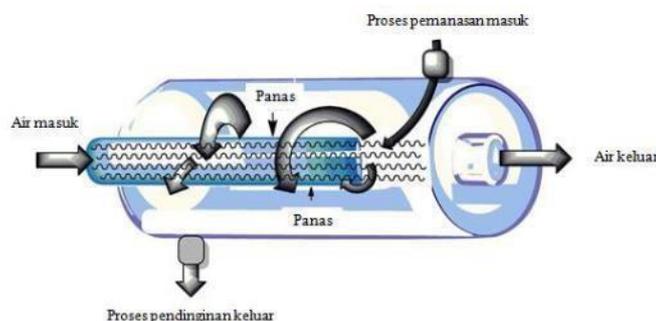
2.1 Pengendapan Senyawa Anorganik

Endapan didefinisikan sebagai bentuk kristal keras yang menempel pada perpindahan panas permukaan di mana proses penghilangannya dapat dilakukan dengan cara di bor atau di *dril*. Endapan yang berasal dari larutan akan terbentuk karena proses penurunan kelarutan pada kenaikan temperatur operasi dan kristal padat melekat erat pada permukaan logam (Lafifah, 2000).

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 (Badr *and* Yassin, 2007). Penyebab terjadinya endapan kerak pada pipa di industri karena terdapatnya senyawa-senyawa pembentuk kerak dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan sehingga terbentuk kristal (Asnawati, 2001).

Secara luas air digunakan sebagai cairan pendingin untuk menghilangkan panas yang tidak diinginkan dari permukaan perpindahan panas seperti pada alat penukar panas, kondensor, evaporator, *cooling tower*, dan *pipe walls*. Untuk proses pendinginan, air dipompa di seluruh tabung penukar panas logam yang terkena proses panas. Air panas yang dihasilkan menjadi dingin dalam *cooling tower* melalui proses penguapan, yang akan digunakan kembali sehingga proses pendinginan dapat diulangi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pendinginan uap tersebut memungkinkan sistem air menjadi lewat jenuh, dengan adanya mineral terlarut yang dipengaruhi oleh karbonat, sulfat, fosfat, logam silikat/silika, besi, dan lain-lain yang menghasilkan depot dan pembentukan kerak. Pada supersaturasi, pembentukan kerak dapat terjadi dikarenakan fluktuasi suhu yang

mendadak pada permukaan perpindahan panas ketika air menyentuh permukaan tersebut (Kragh *et al.*, 1981).



Gambar 1. Representasi skematis proses pertukaran panas (Kragh *et al.*, 1981).

2.2 Kerak

Kerak dapat didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa anorganik yang mengendap dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi yang terjadi pada peralatan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral anorganik dalam air (Soediono dkk., 2011). Kerak adalah tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Seperti air menguap dalam menara pendingin, uap yang murni hilang dan konsentrasi padatan terlarut dalam air yang tersisa. Jika konsentrasi siklus ini dibiarkan berlanjut, berbagai kelarutan padat akhirnya akan terlampaui. Padatan kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, kemudian membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003).

Penyebab terbentuknya endapan kerak pada pipa-pipa di industri adalah terdapatnya senyawa-senyawa pembentuk kerak dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan sehingga terbentuk kristal. Kristal tersebut akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Terganggunya aliran fluida menyebabkan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa mengalami kerusakan (Asnawati, 2001).

Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh. Dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut kembali jika ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel

kritis sementara itu kristal-kristal akan berkembang bila ukurannya lebih besar dari partikel kritis. Apabila ukuran inti kristal menjadi lebih besar dari inti kritis, maka akan dimulai pertumbuhan kristal, dari kristal kecil membentuk kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak). Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008).

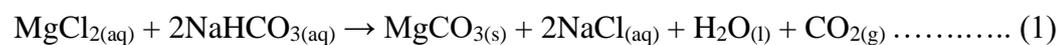
2.3 Magnesium Karbonat (MgCO_3)

Magnesium karbonat (MgCO_3) adalah mineral kalsium karbonat, yang sedikit larut dalam air dan tanah air. Ini dapat dibentuk dalam aplikasi industri tertentu, yaitu di evaporator dan pembangkit listrik pendingin. Kehadiran mineral ini dapat membuat masalah yang signifikan karena dapat mengendap dan menyumbat pipa. Pada prinsipnya, Pembentukan kerak magnesium karbonat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti konsentrasi larutan, pH nilai, suhu, tekanan, dan kekuatan ionik (Azimi and Papangelakis, 2010).

Kerak merupakan senyawa mineral berupa kalsium karbonat, kalsium sulfat, magnesium karbonat dan dalam keadaan tertentu disertai pula unsur-unsur lain yaitu mineral besi serta butiran pasir. Dari semua jenis kerak yang disebutkan kerak magnesium karbonat (MgCO_3) paling banyak dijumpai. Kerak magnesium karbonat (MgCO_3) adalah tumpukan keras dari bahan anorganik dalam bentuk ion Mg^{2+} dan CO_3^{2-} terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Padatan kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, kemudian membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003).

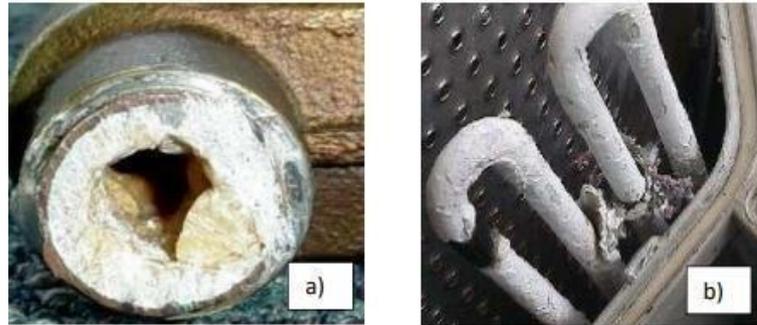
Ikatan ion ini disebabkan karena adanya serah terima elektron. Gaya tarik menarik ini disebut juga dengan gaya elektrostatis. Senyawa ionik dapat membentuk kristal ion dalam suhu kamar. Kristal ion terdiri dari ion positif dan ion negatif, dengan struktur yang teratur dan dapat ditentukan oleh muatan dan jari-jari ion pembentuknya (Hasan dkk., 2017). Pada saat pertukaran elektron terjadi, kation bermuatan positif dan anion bermuatan negatif, akan terjadi gaya elektrostatis antara kation serta anion yang kemudian membentuk ikatan ionik dan terbentuklah senyawa ion (Vela dkk., 2021).

Mekanisme pembentukan endapan kerak berhubungan dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} dan CO_3^{2-}). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses kelarutan. Kelarutan sebagai batas suatu zat yang dapat dilarutkan dalam zat pelarut pada kondisi fisik tertentu. Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan waktu kontak antara air dengan media pembentukan (Ratna, 2011). Magnesium karbonat dapat disiapkan di laboratorium melalui reaksi antara garam magnesium terlarut dan natrium bikarbonat melalui Persamaan 1 (Ariyanto, 2013):



Prinsip pembentukan kerak magnesium karbonat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti konsentrasi larutan, nilai pH, suhu, tekanan, dan kekuatan ion. Secara umum, magnesium karbonat dapat diendapkan dari air garam saat pemanasan dan ada tiga polimorf yaitu kalsit, valerit, aragonit. Aragonit dan vaterit adalah fase yang paling stabil dalam suhu yang lebih rendah, sementara kalsit umumnya terbentuk pada suhu yang lebih tinggi (Raharjo, 2020). Pembentukan skala magnesium karbonat ditentukan oleh laju alir. Secara umum, tingkat pertumbuhan kerak tidak mengikuti linier dengan waktu, karena kecepatan yang lebih tinggi terkadang dapat menyebabkan pengurangan deposisi kerak (Basim *et al.*, 2012). Dalam *Laminar Air Flow (LAF)*, semakin tinggi laju aliran menyebabkan semakin banyak massa skala magnesium karbonat yang diendapkan yang menunjukkan bahwa aliran fluida meningkat meningkatkan laju aliran volume (Muryanto *et al.*, 2012).

Salah satu cara untuk mencegah terbentuknya kerak MgCO_3 di dalam pipa adalah dengan menggunakan inhibitor kimia yang dapat mengontrol pertumbuhan kristal, dan mengubah morfologi (Mullin, 2004). Adanya inhibitor ke dalam larutan dapat secara terus menerus mengontrol proses nukleasi dan pertumbuhan kristal yang terjadi pada permukaan kristal yang sedang tumbuh. Penggunaan aditif yang dibuat dapat membantu untuk memeriksa berbagai proses mengenai nukleasi kristal dan pertumbuhan, interaksi dengan lingkungan pertumbuhan dan polimorfisme kristal (Raharjo *et al.*, 2018). Kerak magnesium karbonat ditunjukkan pada Gambar 2.

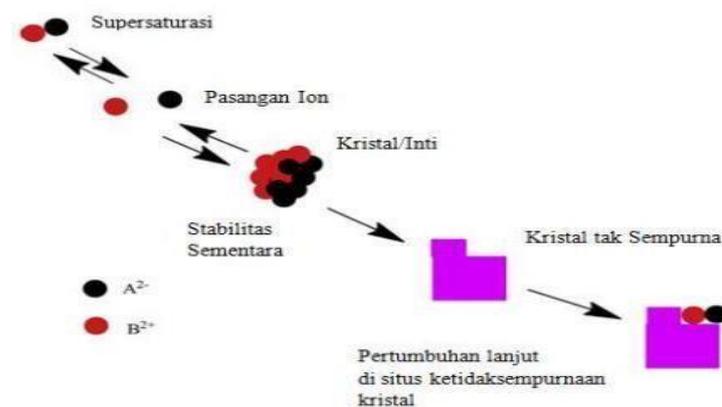


Gambar 2. Endapan kerak magnesium karbonat (a) dalam Pipa (b) permukaan *heat exchangers* (Crabtree *et al.*, 1999).

2.4 Mekanisme Pembentukan Kerak

Scale terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh, dalam keadaan larutan jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut kembali menjadi ukuran lebih kecil daripada ukuran partikel kritis. Kristal- kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuknya *scale* (Suharso dan Buhani, 2015).

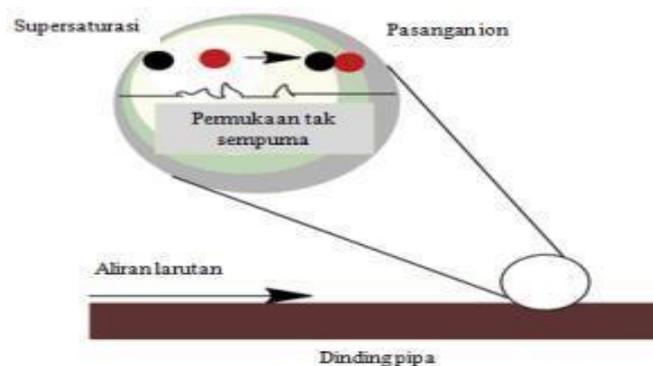
Pertumbuhan kerak merupakan proses yang terdiri dari beberapa tahap dan berasal dari suatu larutan. Pertumbuhan awal dalam pembentukan kerak mineral yaitu terbentuknya gugus atom yang tidak stabil di dalam cairan lewat jenuh oleh nukleasi homogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nukleasi homogen (Crabtree *et al.*, 1999).

Gugus atom yang tidak stabil menghasilkan benih kristal kecil di dalam larutan lewat jenuh. Akibatnya ukuran benih kristal tersebut tumbuh dengan menyerap ion ke dalam permukaan kristal yang tidak sempurna maka ukuran kristal menjadi semakin lebih besar. Energi saat kristal tumbuh menjadi lebih besar diperoleh dari reduksi pada permukaan energi bebas kristal. Selain itu, dengan cepat direduksi saat peningkatan radius mencapai radius kritis. Hal ini menunjukkan bahwa kristal yang berukuran besar mendukung agar kristal dapat terus tumbuh, sedangkan benih kristal berukuran kecil dapat kembali larut. Benih kristal merupakan suatu katalisator pembentukan kerak yang dapat mendorong pertumbuhan tumpukan kerak (Crabtree *et al.*, 1999).

Pada proses nukleasi heterogen, pertumbuhan kristal dimulai pada permukaan batas larutan yang sudah ada sebelumnya di dalam pipa pertukaran panas. Nukleasi heterogen yang ada pada permukaan, bekerja jauh lebih baik daripada nukleasi homogen. Menurut Alahmad (2008) tempat nukleasi heterogen mencakup permukaan tak sempurna seperti kekasaran permukaan pipa atau perforasi di *liners* produksi atau bahkan bergabung dan meninggalkan bekas pada *tubing* dan *pipelines* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nukleasi heterogen (Crabtree *et al.*, 1999).

Menurut (Antoni dan Ag, 2012), pada dasarnya proses terbentuknya *scale* dapat dikategorikan dalam tiga tahapan pokok, yaitu:

1. Tahap pembentukan inti (nukleasi)

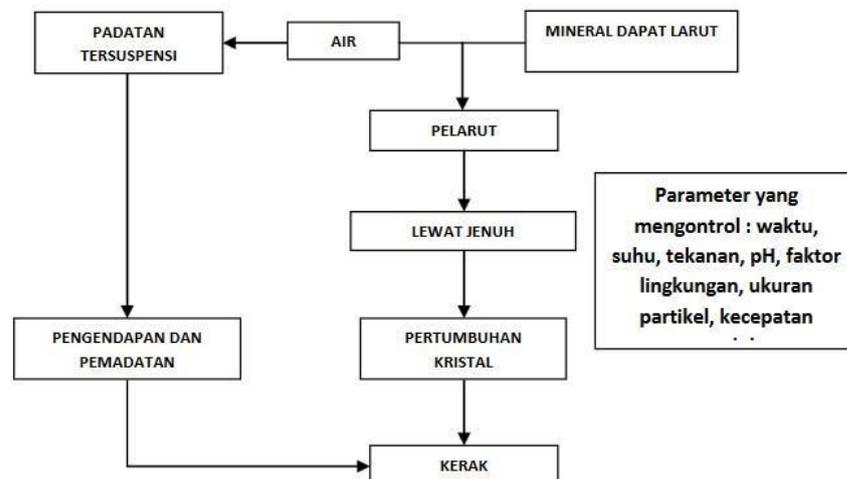
Pada tahap ini ion-ion yang terkandung dalam air formasi akan mengalami reaksi kimia untuk membentuk inti kristal. Inti kristal yang terbentuk sangat halus sehingga tidak akan mengendap dalam proses aliran.

2. Tahap pertumbuhan inti

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

3. Tahap pengendapan

Kecepatan pengendapan kristal dipengaruhi oleh ukuran dan berat jenis kristal yang membesar pada tahap sebelumnya. Selain itu, proses pengendapan juga dipengaruhi oleh aliran fluida pembawa, di mana kristal akan mengendap apabila kecepatan pengendapan lebih besar dari kecepatan aliran fluida.



Gambar 5. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air (Salimin *and* Gunandjar, 2007).

Dalam proses produksi, perubahan kelarutan terjadi seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama produksi. Perubahan angka kelarutan pada tiap zat terlarut dalam air formasi akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air formasi, sehingga akan terjadi reaksi kimia antara ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dengan membentuk senyawa endapan yang berupa kristal (Salimin *and* Gunandjar, 2007).

Menurut (Siswoyo, 2005), terdapat kondisi-kondisi yang mendukung pembentukan dan pengendapan *scale* antara lain sebagai berikut :

1. Air mengandung ion-ion yang memiliki kecenderungan untuk membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai angka kelarutan rendah.
2. Adanya perubahan kondisi fisik atau komposisi air yang akan menurunkan kelarutan lebih rendah dari konsentrasi yang ada.
3. Kenaikan temperatur akan menyebabkan terjadinya proses penguapan, sehingga akan terjadi perubahan kelarutan.
4. Air formasi yang mempunyai derajat keasaman (pH) besar akan mempercepat terbentuknya endapan *scale*.
5. Pengendapan *scale* akan meningkat dengan lamanya waktu kontak dan ini akan mengarah pada pembentukan *scale* yang lebih padat dan keras.

2.5 Faktor Pembentukan Kerak

Pembentukan kerak dan deposit endapan lain adalah proses kristalisasi yang kompleks. Kecepatan pembentukan lapisan awal kerak dan kecepatan pertumbuhan yang berikutnya ditentukan melalui interaksi dari beberapa kecepatan proses seperti: nukleasi, difusi, reaksi kimia, kesesuaian pola geometris molekul-molekul dan atom-atom kristal kerak, dan lain-lain. Sebagian besar unsur pokok pembentukan kerak mineral kelarutannya cenderung turun terhadap kenaikan suhu. Oleh karena itu, bila larutan lewat jenuh bersinggungan dengan permukaan transfer panas, mineral tersebut mengendap menjadi padatan karena daya larut setimbangannya menurun. 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 karbonat dapat mengendap dan membentuk kerak sebagai akibat dari beda tekanan, perubahan temperatur, perubahan pH, dan lain-lain. Perubahan tersebut terjadi dalam peralatan proses, penukar panas, evaporator, *boiler*, dan *cooling tower* (Salimin dan Gunandjar, 2007).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan kerak menurut Lestari dkk., (2004), adalah sebagai berikut:

1. Kualitas air

Pembentukan kerak dipengaruhi oleh konsentrasi komponen-komponen kerak (kesadahan kalsium, konsentrasi karbonat, dan lain - lain), pH, dan konsentrasi bahan penghambat kerak di dalam air. Ada berbagai indeks yang digunakan

untuk meramalkan terjadinya pembentukan kerak, diantaranya indeks kejenuhan dari Langelier untuk kalsium karbonat, indeks *Green* dkk untuk kalsium fosfat dan persamaan Kubo untuk menghitung derajat keasaman (pH) pengendapan kritis kalsium fosfat.

2. Temperatur air

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

3. Laju alir air

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

Pembentukan kerak merupakan proses kristalisasi yang biasanya terdiri dari empat tahap, yaitu :

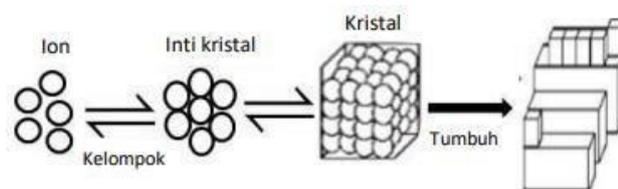
1. Tercapainya keadaan larutan yang lewat jenuh (*supersaturation*),
2. Pembentukan inti kristal (nukleasi),
3. Pertumbuhan kristal pada sekeliling inti;
4. Pertumbuhan kristal kecil membentuk kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak) (Hasson *and* Semiat, 2005).

Dapat diketahui bahwa kerak terbentuk sebagai akibat dari menumpuknya inti-inti kristal. Berikut ini faktor-faktor pembentukan kristal:

2.5.1 Kristalisasi

Kristalisasi adalah peristiwa pembentukan partikel-partikel zat padat dalam suatu fase homogen. Kristalisasi dari larutan dapat terjadi jika padatan terlarut dalam keadaan berlebih (diluar kesetimbangan), maka sistem akan mencapai kesetimbangan dengan cara mengkristalkan padatan terlarut (Dewi dan Ali, 2003).

Kristalisasi mempunyai 2 tahap proses, yaitu tahap pembentukan inti yang dimulai terbentuknya zat padat baru, dan tahap pertumbuhan kristal yang merupakan tahap inti zat padat yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan menjadi kristal yang lebih besar, dampaknya kristal inti yang pada awal mulanya hanya memiliki ukuran yang kecil akan berganti menjadi ukuran yang lebih besar. Proses pertumbuhan kristal pada kerak ialah salah satu contoh permasalahan laju perkembangan kristal yang bisa dengan mudah diamati (Suharso, 2004; Suharso, 2007a; Suharso, 2009a; Suharso, 2009b; Suharso, 2010a; Suharso, 2010b; Suharso, 2010c; Suharso, 2010d; Suharso, 2012; Suharso, 2012a; Suharso et al., 2008). Penjelasan sederhana pembentukan kerak (kristalisasi) ditunjukkan pada Gambar 6.



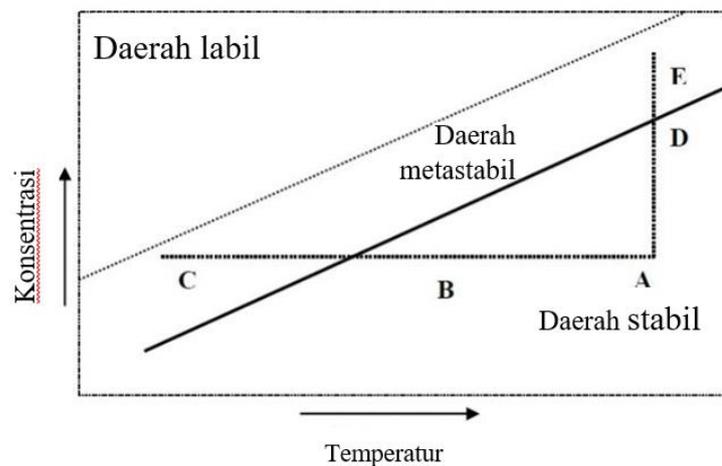
Gambar 6. Proses pembentukan kristal (Zeiher *et al.*, 2003).

2.5.2 Kelarutan Endapan

Kelarutan bergantung pula pada sifat serta konsentrasi zat-zat lain, terutama ion-ion dalam kombinasi itu. Terdapat perbandingan yang besar antara dampak dari ion sejenis serta ion asing. Ion sejenis merupakan sesuatu ion pada salah satu bahan endapan. Dapat dikatakan bahwa suatu endapan berkurang banyak apabila salah satu ion sejenis ada dalam jumlah berlebihan, walaupun dampak ini mungkin diimbangi dengan pembuatan suatu kompleks yang dapat larut dengan ion sejenis yang berlebihan tersebut. Adanya ion asing menyebabkan kelarutan endapan meningkat, namun pertambahan ini umumnya sedikit, kecuali jika terjadi reaksi kimia (seperti pembentukan kompleks atau reaksi asam-basa) antara endapan serta ion asing, pertambahan kelarutannya menjadi lebih besar (Suharso dan Buhani, 2015).

2.5.3 Derajat Lewat Jenuh

Larutan lewat jenuh merupakan larutan yang mengandung zat terlarut lebih besar daripada yang diperlukan pada sistem kesetimbangan larutan jenuh. Keadaan larutan lewat jenuh dapat diperoleh melalui proses pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan serta dengan akumulasi zat lain untuk menurunkan kelarutannya (Wafiroh, 1995).



Gambar 7. Diagram temperatur– konsentrasi (Wafiroh, 1995).

Garis tebal pada Gambar 7 menampilkan kelarutan wajar buat zat terlarut dalam pelarut. Garis putus- putus menampilkan kurva melalui jenuh, letaknya dalam diagram bergantung pada zat- zat pengotor. Pada diagram tersebut, keadaan kelarutan dipecah dalam 3 bagian yaitu daerah stabil, metastabil, dan daerah labil. Daerah stabil merupakan daerah larutan yang tidak mengalami kristalisasi. Daerah yang memungkinkan terjadinya kristalisasi tidak spontan merupakan wilayah metastabil, sedangkan wilayah labil merupakan wilayah yang memungkinkan terjadinya kristalisasi secara spontan (Wafiroh, 1995).

Pada diagram pembentukan inti kristal, bila sesuatu larutan yang terletak pada titik A, didinginkan tanpa kehilangan volume pelarut (garis ABC), sehingga pembentukan inti secara spontan tidak akan terjadi sampai kondisi C tercapai. Larutan lewat jenuh dapat pula dicapai dengan mengurangi sejumlah volume pelarut dari pelarutnya melalui proses penguapan. Hal ini ditunjukkan dengan garis ADE, yaitu bila larutan pada titik A diuapkan pada temperatur konstan (Wafiroh, 1995).

2.6 Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak MgCO₃

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak magnesium karbonat pada peralatan-peralatan industri adalah sebagai berikut :

2.6.1 Pengendalian pH

Pengendalian pH dengan penginjeksian asam (asam sulfat ataupun asam klorida) telah lama diterapkan untuk menghindari pertumbuhan kerak oleh garam- garam kalsium, garam logam bivalen serta garam fosfat. Kelarutan bahan pembuatan kerak umumnya bertambah pada pH yang lebih rendah. Pada pH 6, 5 ataupun kurang, korosi pada baja karbon, tembaga serta paduan tembaga dengan cepat akan berlangsung serta pH efisien untuk menghindari pengendapan kerak hanya pada pH 7, 0 hingga 7, 5. Suatu sistem otomatis penginjeksian asam dibutuhkan untuk mengendalikan pH secara tepat. Asam sulfat serta asam klorida juga memiliki tingkatan bahaya yang cukup besar dalam penanganannya (Lestari dkk., 2004).

2.6.2 Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Usaha dalam mencegah terbentuknya kerak pada air yang memiliki kesadahan besar (± 250 ppm CaCO₃) memerlukan pelunakan menggunakan kapur serta soda abu (pengolahan kapur dingin). Permasalahan kerak tidak akan di jumpai jika dipakai air leluasa mineral, karena segala garam- garam terlarut bisa dihilangkan. Sehingga pemakaian air bebas mineral merupakan metode yang tepat untuk menghambat kerak di dalam sesuatu sistem dengan pembebanan panas tinggi di mana pengolahan konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil (Lestari *et al.*, 2004). Tetapi, pemakaian air bebas mineral memerlukan biaya yang cukup besar untuk digunakan dalam industri skala besar sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja.

2.6.3 Penggunaan Inhibitor Kerak

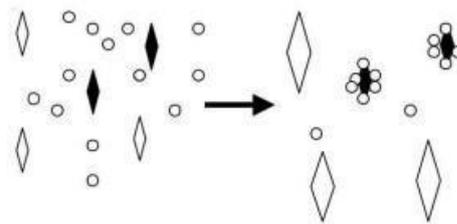
Inhibitor kerak merupakan bahan kimia yang menghentikan ataupun mencegah terjadinya kerak apabila ditambahkan pada konsentrasi yang kecil pada air (Halimatuddahlia, 2003). Metode penambahan inhibitor memiliki tingkat keefektifan yang tinggi, jika ditambahkan dalam konsentrasi yang sangat rendah

dan dapat mencegah kerak dalam periode waktu yang lama (Karliana, 2009). Salah satu prinsip kerja dari inhibitor kerak menurut Suharso and Buhani (2011) yaitu pembentukan senyawa kompleks (kelat) antara inhibitor kerak dengan unsur-unsur pembentuk kerak, sehingga ketika senyawa penjebakan yang terbentuk larut dalam air maka kemungkinan pertumbuhan kristal dapat dicegah.

Mekanisme kerja inhibitor kerak terbagi menjadi dua, yaitu :

- a. Inhibitor kerak dapat teradsorpsi pada permukaan kristal kerak pada saat mulai terbentuk. Inhibitor merupakan kristal yang besar yang dapat menutupi kristal yang kecil dan menghalangi pertumbuhan selanjutnya.
- b. Dalam banyak hal bahan kimia dapat dengan mudah mencegah menempelnya suatu partikel-partikel pada permukaan padatan (Suharso dkk., 2007).

Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan pada Gambar 8 yang 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 8. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan (\circ = inhibitor, \diamond = bibit kristal) (Suharso *et al.*, 2009).

Biasanya, penggunaan bahan kimia tambahan untuk mencegah pembentukan kerak didukung dengan penggunaan bola-bola spons untuk membersihkan secara mekanis permukaan bagian dalam pipa. Syarat yang harus dimiliki senyawa kimia sebagai inhibitor kerak adalah sebagai berikut:

- a. Inhibitor kerak harus menunjukkan kestabilan termal yang cukup dan efektif untuk mencegah terbentuknya air sadah dari pembentukan kerak.
- b. Inhibitor kerak juga harus dapat merusak struktur kristal dan padatan tersuspensi lain yang mungkin akan terbentuk.
- c. Selain itu, inhibitor kerak juga harus memiliki tingkat keamanan yang tinggi dalam penggunaannya sehingga tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi lingkungan sekitar (Al-Deffeeri, 2006).

Salah satu cara untuk mencegah terjadinya *scale* yaitu dengan cara menjaga kation-kation pembentuk *scale* tetap berada dalam larutannya. Zat-zat kimia yang ditambahkan dalam air berfungsi sebagai pencegah terbentuknya *scale* di dalam larutan tersebut (Septiapribadi, 2010). Ada beberapa metode *treatment* yang dapat dilakukan untuk menginjeksikan *scale inhibitor*, yaitu :

a. *Squeeze Treatment*

Squeeze treatment ini merupakan suatu cara menginjeksikan *scale inhibitor* ke dalam formasi melalui anulus dengan tekanan injeksi tertentu di bawah tekanan rekah formasi dan di atas tekanan formasi.

b. *Batch Treatment*

Batch treatment merupakan suatu cara dengan menempatkan *scale inhibitor* ke dalam sumur melalui tubing dalam jumlah yang hampir sama dengan jumlah air yang diproduksi per hari. Dengan adanya aliran fluida dari *reservoir* yang mengalir ke lubang sumur, maka fluida akan bercampur dengan *scale inhibitor* yang ada.

c. *Continous Treatment*

Continous treatment merupakan suatu cara *treatment* dengan jalan menginjeksikan *scale inhibitor* di permukaan dari kepala sumur (*well head*) menuju stasiun pengumpul (*gathering station*) dengan *chemical injection pump*. Dengan cara tersebut dapat menghambat kecenderungan terbentuknya *scale* yang dapat memperkecil diameter dalam pipa dan dengan segera dapat menjaga kelarutan (Asnawati, 2001).

2.7 Mekanisme Penghambatan Kerak

Terdapat berbagai tata cara penghambatan kerak pada pipa yang sangat efektif salah satunya ialah dengan memakai inhibitor kerak. Ada 4 macam mekanisme

yang berlangsung dikala terbentuknya proses pelarutan serta penghambatan perkembangan kristal, ialah antara lain sebagai berikut:

2.7.1 Penghambat Ambang Batas

Inhibisi ambang batasan ialah keahlian senyawa kimia pada tingkat substoikiometri untuk mempertahankan kelarutan ion mineral yang melewati batasan wajarnya (Stamatakis *et al.*, 2006) yang menghambat terbentuknya nukleasi untuk menghindari pengendapan lebih lanjut dengan mengusik gugus ion untuk menggapai dimensi kritis pada nukleasi dengan membatasi posisi perkembangan sehingga inhibitor memisahkan serta melepaskan ion pada proses penghambatan. Proses ini dikendalikan oleh kinetika serta bukan dampak termodinamika. Guna inhibitor ambang batasan lewat mekanisme adsorpsi stereospesifik di atas bidang kristalografi dari perkembangan inti (Abdel and Sawada, 2003). Adsorpsi mempengaruhi struktur kristal serta mendesak kristal secara termodinamik mengarah pelarutan kembali daripada mengarah pertumbuhan kristal secara otomatis. Mekanisme ini biasanya berlaku untuk molekul- molekul kecil. Inhibitor yang biasa digunakan dalam membatasi kerak merupakan senyawa yang memiliki fosfor, semacam polifosfat anorganik, ester fosfat organik, fosfonat organik, serta fosfat amino organik. Tidak hanya itu, beberapa aminopolikarboksilat, fosfonopolikarboksilat, serta sulfonat pula diketahui sebagai inhibitor. Terdapat gugus tambahan, seperti -COOH, -OH, NH₂ meningkatkan laju pelarutan serta efisiensi pelarutan (Demadis *et al.*, 2006).

2.7.2 *Khelat*

Khelat ialah aditif kimia yang dapat mengikat spesies kation yang dapat larut semacam Ca²⁺, Mg²⁺, Ba²⁺ dengan metode menghindari respon dari *counter* ion (Jones *et al.*, 2006). Prosesnya mengganti muatan ion logam dari positif menjadi negatif serta mengunci logam tersebut ke dalam struktur cincin organik yang larut. Kompleks yang tercipta antara *khelat* logam yang tercipta larut dalam air. Kompleks logam terlarut tidak membuktikan terdapatnya aktivitas kimia selaku ion non- kompleks untuk pengendapan di permukaan panas. Satu molekul *khelat* hanya bereaksi dengan satu ion kalsium ataupun terkadang sebagian, bergantung pada pH serta dosis besar dibutuhkan buat menggapai hasil yang di inginkan (Chauhan *et*

al., 2015). Umumnya komponen utama dari pelarut kerak yang biasa digunakan merupakan garam dari asam amino karboksilat (EDTA; asam dietilentriaminpentaasetat; asam nitriltriasetat) serta polifosfonat (Knepper, 2003).

2.7.3 Distorsi Kristal

Molekul inhibitor mengadsorpsi ke situs pertumbuhan kristal yang aktif, akibatnya molekul inhibitor menghalangi dan mencegah pertumbuhan kristal lebih lanjut. Dengan demikian, mekanisme penghambatan yang terjadi melalui distorsi kristal. Dalam mekanisme distorsi kristal, inhibitor kerak mempengaruhi reaksi penataan dan pertumbuhan kristal sehingga menyebabkan bentuk yang tidak teratur dan nonkristalin (Suharso *and* Buhani, 2019).

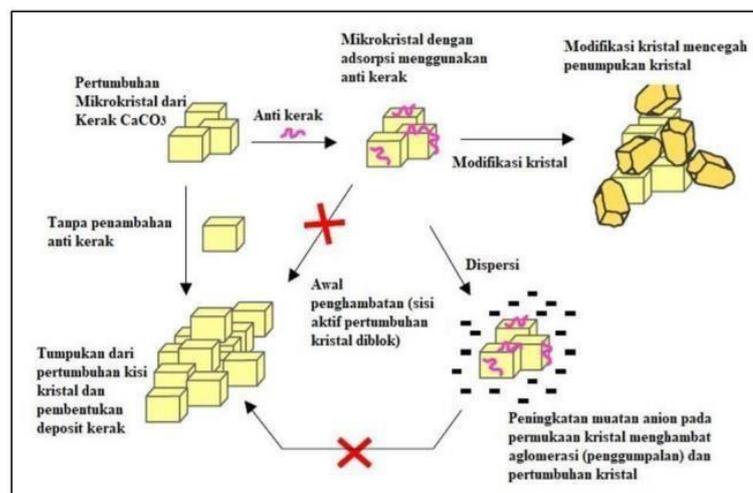
Selain itu, distorsi (cacat pada kisi kristal) menghasilkan tekanan internal, membuat kristal rapuh serta halus. Kristal- kristal halus ini tidak bisa menahan gaya-gaya mekanik yang diberikan oleh air sehingga dapat dengan mudah dihilangkan dari permukaan pipa. Polimer dengan bobot molekul rendah antara 2000- 5000 menampilkan keahlian yang baik dalam sifat distorsi kristal. Produk yang sangat universal digunakan merupakan asam poliakrilat (PAA), asam polimaleat (PMA), poliamida, dendrimer poliamida, karboksimetilnulin, serta lain- lain (Chauhan *et al.*, 2015).

2.7.4 Dispersi Kristal

Dispersi ialah kombinasi stabil yang seragam dari bahan yang tidak larut dalam cairan. Dispersi kristal terjadi ketika inhibitor secara kimia teradsorpsi ke permukaan kristal serta membagikan muatan tambahan di permukaan. Muatan permukaan yang dihasilkan menimbulkan tolakan elektrostatis antara partikel yang bermuatan sama untuk menghindari proses aglomerasi sehingga mengurangi pertumbuhan partikel dan akhirnya menyebabkan terbentuknya dispersi kristal. Adsorpsi inhibitor pula berikan hidrofilisitas terhadap kristal, yang membuat kristal kurang menempel pada permukaan panas sehingga dispersi mempengaruhi interaksi partikel ke partikel (homogen) serta partikel ke permukaan (heterogen). Inhibitor jenis dispersi berhubungan dengan permukaan kristal dengan cara

memodifikasi permukaan sehingga bisa menjauhkan kristal dari pembentukan kerak pada permukaan panas (Chauhan *et al.*, 2015).

Dari keempat mekanisme inhibitor yang sudah disebutkan terkait dengan penghambatan, dispersi, modifikasi kristal, serta pengelatan pada dasarnya mengaitkan adsorpsi anti kerak buat membatasi kerak yang terjalin pada permukaan, prosesnya bisa ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9. Mekanisme pencegahan kerak dengan penghambatan ambang batas, dispersi, dan modifikasi kristal (Chauhan *et al.*, 2015).

2.8 Asap Cair Tempurung Kelapa *Food Grade (Grade 2)*

Asap cair (*liquid smoke*) merupakan suatu hasil distilasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan-bahan yang mengandung karbon (Yunus, 2011), serta senyawa-senyawa lain seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin (Darmadji, 2009). Pada dasarnya bahan baku yang menghasilkan asap cair ini bermacam-macam, antara lain kayu tempurung dan serabut kelapa, sampah organik, cangkang kopi, bambu maupun merang padi (Ridhuan dkk., 2019). Asap cair diperoleh dengan cara kondensasi asap hasil pembakaran bahan mengandung lignoselulosa antara lain tempurung kelapa, kayu dan cangkang kelapa sawit pada suhu 20–400 °C. Pada asap cair tempurung kelapa, cairan atau destilat yang diperoleh berwarna cokelat tua dan masih tercampur dengan senyawa-senyawa kimia yang tidak diinginkan seperti tar dan senyawa karsinogen lainnya (Darmadji, 2002).

Senyawa yang berhasil dideteksi dalam asap cair dikelompokkan menjadi beberapa golongan yaitu fenol, karbonil, keton dan aldehid, furan, polisiklik, dan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) (Atmaja, 2009). Senyawa utama yang terdapat dalam asap cair diantaranya adalah fenol, karbonil dan senyawa asam (Jamilatun dan Salamah, 2015). Gumanti (2006) melaporkan bahwa komponen kimia destilat asap cair tempurung kelapa mengandung total fenol (5,5%), metil alkohol (0,37%), dan total asam (7,1%). Menurut Tranggono dkk., (1996) asap cair tempurung kelapa memiliki 7 macam komponen dominan, yaitu fenol, 3-metil-1,2-siklopentadion, 2-metoksifenol, 2-metoksi-4-metilfenol, 4-etil-2-metoksifenol, 2,6-dimetoksifenol, dan 2,5-dimetoksi benzil alkohol yang semuanya larut dalam eter. Asap cair memiliki banyak manfaat salah satunya yaitu sebagai inhibitor (Choi *et al.*, 2001).

Proses pembuatan asap cair melalui beberapa tahapan yaitu pirolisis, kondensasi dan redistilasi. Asap cair yang dikondensasikan masih memiliki kandungan tar dan berwarna keruh, sehingga perlu dilakukan distilasi berulang-ulang (Yunus, 2011; Jamilatun dan Salamah, 2015). Pada penelitian Jamilatun dan Martono (2014) menggunakan asap cair tempurung kelapa *grade 2* yang dihasilkan setelah melewati proses destilasi kemudian disaring dengan menggunakan zeolit pada suhu 250-300 °C. Proses penyaringan ini menyebabkan kandungan senyawa berbahaya seperti *benzopyrene* serta tar yang masih terdapat dalam asap cair teradsorpsi oleh zeolit.

Asap cair dapat memperpanjang masa simpan produk dengan mencegah kerusakan akibat aktivitas bakteri pembusuk dan patogen. Senyawa yang mendukung sifat antibakteri dalam distilat asap cair adalah senyawa fenol dan asam. Senyawa fenol dapat menghambat pertumbuhan populasi bakteri dengan memperpanjang fase lag secara proposional di dalam produk, sedangkan kecepatan pertumbuhan dalam fase eksponensial tetap tidak berubah, kecuali konsentrasi fenol yang tinggi. Fraksi fenol yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri adalah fenol dengan titik didih rendah. Asam lebih kuat menghambat pertumbuhan bakteri pada senyawa fenol, namun apabila keduanya digabungkan akan menghasilkan kemampuan penghambat yang lebih besar daripada masing-masing senyawa (Darmadji, 2009).

Adapun kualitas pada asap cair tergantung dari kadar asam asetat, fenol, difenol, formaldehid dan karbonil yang merupakan komponen yang dapat berperan dalam

bau, warna, daya simpan dan tekstur. Asap cair food grade diperoleh di pasaran yang sudah digunakan masyarakat untuk mengawetkan makanan (Jamilatun dan Salamah, 2015). Hasil analisis GC-MS pada asap cair *food grade* ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis GC-MS asap cair *Food Grade* (Jamilatun dan Salamah, 2015).

No.	Jenis	Presentase Jumlah Senyawa				
		Asam Asetat	Fenol	Metoksi	Benzena	Asam Karbonil
1	Sampel Murni	2,63 %	54,8 %	11,72 %	12,86 %	9,93 %

Berdasarkan Tabel 1, asap cair *food grade* mengandung asam asetat 2,63 %, fenol 54, 58 %, metoksi 11,72 %, benzene 12, 86 %, dan 9,93 % (Jamilatun dan Salamah, 2015). Distilasi asap cair dapat dilakukan pada suhu 100 °C hingga 150° C (Darmadji, 2002). Menurut Gorbatov dkk., (1971) dalam Darmadji (2002), Asap cair tempurung kelapa *grade 2* banyak mengandung senyawa fenolik, asam seperti asam asetat, asam butirrat, dan asam propionat, serta mengandung karbonil (Darmadji dkk., 1996). Fenol memiliki gugus OH, yang dapat mengikat logam berat seperti Ca^{2+} (Irianty dan Sembiring, 2012). Fenol yang memiliki rentang suhu optimal 0° C – 90° C (Putri dkk., 2014). Menurut Harjanti dkk., (2003) hampir semua senyawa fenol mengalami kerusakan akibat suhu pemanasan diatas 85° C dengan lama pemanasan lebih dari 5 menit.

2.9 Metode *Seeded Experiment*

Seeded experiment merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit kristal (*seeded experiment*) 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 (Rahmania, 2012). Hal ini

dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak kalsium sulfat setelah ditambahkan gambir dan kemenyan putih dengan *seeded experiment*.

2.10 Analisis dan Karakterisasi Kerak MgCO₃

Pada penelitian ini dilakukan analisis dan karakterisasi terhadap pertumbuhan kristal magnesium karbonat (MgCO₃). Analisis menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional dan komponen senyawa kimia yang terkandung dalam asap cair tempurung kelapa *food grade*. Analisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terkandung dalam sampel inhibitor yaitu asap cair tempurung kelapa *food grade*. Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan morfologi permukaan kristal MgCO₃. Sedangkan, analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel MgCO₃ dan analisis untuk mengetahui bentuk kristal MgCO₃ menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Analisis dan karakterisasi ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui dan membuktikan inhibitor asap cair tempurung kelapa *food grade* dapat menghambat pembentukan kerak magnesium karbonat (MgCO₃).

2.10.1 Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR)

FT-IR merupakan salah satu instrumen yang menggunakan prinsip spektroskopi. Spektroskopi adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya (Anam *et al.*, 2007). Spektroskopi inframerah berguna untuk identifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak. Spektrofotometri inframerah dapat mengidentifikasi struktur suatu senyawa dengan mengetahui adanya gugus-gugus fungsional utama dalam suatu sampel. Pada spektrofotometri inframerah, setiap gugus fungsi pada suatu senyawa akan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang karakteristik (Chusnul, 2011).

Spektrum IR suatu molekul merupakan hasil transisi antara tingkatan tenaga vibrasi dan osilasi. Apabila molekul meresap radiasi IR, tenaga yang diserap akan menyebabkan peningkatan amplitudo getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul- molekul tersebut terletak pada kondisi vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*), energi yang diserap ini akan dibuang dalam wujud panas apabila molekul itu kembali pada keadaan dasar. Dengan demikian spektrofotometer IR bisa digunakan untuk mengenali terdapatnya gugus fungsi dalam sesuatu molekul (Supratman, 2010).

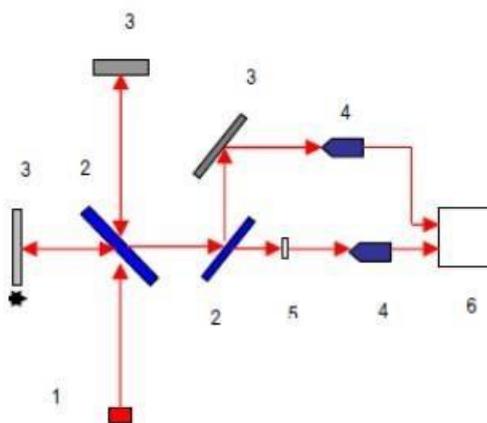
Menurut Sastrohamidjojo (2002) bila sinar inframerah dilewatkan melalui cuplikan senyawa organik, maka sejumlah frekuensi diserap sedangkan frekuensi yang lain diteruskan atau ditransmisikan. Sinar inframerah mempunyai energi yang rendah dengan bilangan gelombang antara $600\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ atau sekitar ($1,7 \times 10^{-3}\text{ cm}$ sampai dengan $2,5 \times 10^{-4}\text{ cm}$). Sinar infra merah hanya dapat menyebabkan vibrasi (getaran) pada ikatan baik berupa rentangan (*stretching*) maupun berupa bengkokan (*bending*) (Sitorus, 2009). Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmision cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Anam *et al.*, 2007).

Pada penelitian ini, inhibitor asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dianalisis menggunakan FT-IR, fungsi dari analisis ini untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor, diharapkan spektrum yang diperoleh dapat memberikan pita serapan yang menunjukkan adanya gugus C=O dari asam karboksilat, keton, aldehida dan ester pada bilangan gelombang $2100\text{-}2400\text{ cm}^{-1}$. Selain itu dapat menunjukkan adanya gugus -OH dan N-H pada bilangan gelombang sekitar $3000\text{-}3750\text{ cm}^{-1}$, gugus C=C pada bilangan gelombang $1650\text{-}1900\text{ cm}^{-1}$, gugus C-H dari aromatik, alkuna, alkena pada bilangan gelombang $2900\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ dan gugus C \equiv N, N \equiv N pada bilangan gelombang $2700\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ (Permanasari dkk., 2016).

Ciri-ciri pita serapan untuk mengetahui perkiraan gugus fungsi yang lebih spesifik yaitu sebagai berikut:

1. Pita utama dalam senyawa alkana disebabkan oleh ulur C-H di daerah 2850-3000 cm^{-1} , tekuk menggantung $-\text{CH}_2$ dan $-\text{CH}_3$ pada 1450-1470 cm^{-1} , tekuk *rocking* -CH pada 1370-1380 cm^{-1} .
2. Ulur C-H alkena terjadi pada bilangan gelombang lebih tinggi dari alkana (3050-3150 cm^{-1}), ulur C=C terjadi pada 645-1670 cm^{-1} , tekuk C – H di luar bidang terjadi antara 650-1000 cm^{-1} , dan untuk alkena ujung tampak vibrasi kuat pada 890-990 cm^{-1} .
3. Alkuna ujung menunjukkan pita ulur C – H tajam pada 3300-3320 cm^{-1} , ulur $\text{C}\equiv\text{C}$ ujung pada 2100-2140 cm^{-1} , ujung pada 2100 – 2140 cm^{-1} , dan ulur $\text{C}\equiv\text{C}$ yang tidak terlalu tajam pada 2200-2260 cm^{-1} .
4. Ciri serapan IR untuk alkohol dan eter adalah pita vibrasi ulur pada 1050-1200 cm^{-1} , dan terutama ulur OH dari alkohol pada 3200-3600 cm^{-1} . Pita tajam adalah ulur OH bebas, sedang pita lebar dalam OH terikat ikatan hidrogen.
5. Pada aldehid dan keton ciri serapan gugus ini adalah ulur C = O yang tajam pada daerah 1725 cm^{-1} .
6. Spektra khas amida ditunjukkan oleh dua pita serapan kuat pada daerah 1600 -1700 cm^{-1} , yaitu dari ulur C=O dan tekuk N-H dan atau ulur C-N (Permanasari dkk., 2016).

Adapun skema spektroskopi FTIR ditunjukkan pada Gambar 10.

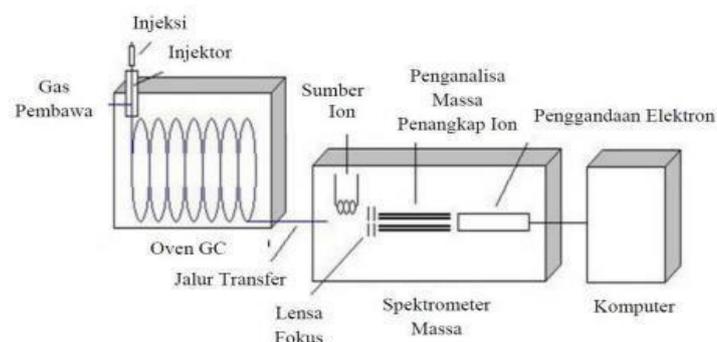


Gambar 10. Skema alat spektroskopi FT-IR. (1) Sumber inframerah. (2) Pembagi berkas (*beam splitter*). (3) Kaca pemantul. (4) Sensor inframerah. (5) Sampel. (6) Display (Anam *et al.*, 2007).

2.10.2 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Kromatografi gas (Gas Chromatography) merupakan suatu alat yang digunakan sebagai alat untuk memisahkan berbagai komponen campuran dalam sampel. Kromatografi gas digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif campuran, untuk pemurnian senyawa, dan untuk penentuan konstanta termokimia seperti panas larutan dan penguapan, koefisien aktivitas, dan tekanan uap (Rubaye *et al.*, 2017).

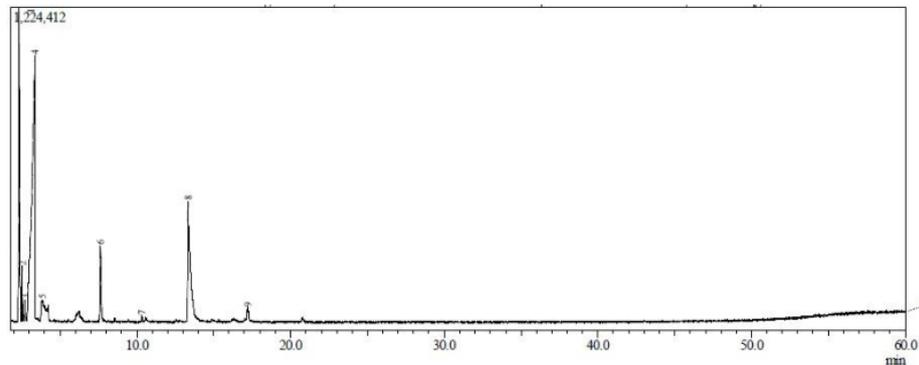
Metode GC-MS merupakan metode dengan mekanisme pemisahan sampel yang dilakukan dengan metode kromatografi gas sedangkan analisis menggunakan MS (*Mass spectroscopy*). Metode GC-MS memiliki sensitivitas tinggi sehingga dapat memisahkan senyawa yang saling bercampur dan mampu menganalisis berbagai senyawa walaupun dalam kadar/ konsentrasi yang rendah (Gandjar dan Rohman, 2012). Metode GC-MS merupakan metode dengan mekanisme pemisahan sampel dilakukan menggunakan kromatografi gas yaitu pemisahan solut-solut yang mudah menguap sedangkan analisis menggunakan spektrofotometri massa. Prinsip dasar dari spektrofotometri massa adalah untuk menghasilkan ion baik dari senyawa anorganik atau organik dengan metode yang sesuai, untuk memisahkan ion-ion suatu senyawa dengan berdasarkan *mass-to-charge* (m/z) dan mendeteksinya secara kualitatif dan kuantitatif dengan m/z dari masing-masing senyawa dan kelimpahannya (Gross, 2017). Skema instrumentasi GC-MS ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Skema alat instrumentasi GC-MS (Pavia, 2006).

Analisis menggunakan GC-MS dilakukan untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang terdapat pada inhibitor asap cair tempurung kelapa. Berikut hasil analisis

komponen kimia dari asap cair tempurung kelapa menggunakan alat GC-MS, yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kromatogram asap cair tempurung kelapa *Grade 2* (Kurniawan, 2018).

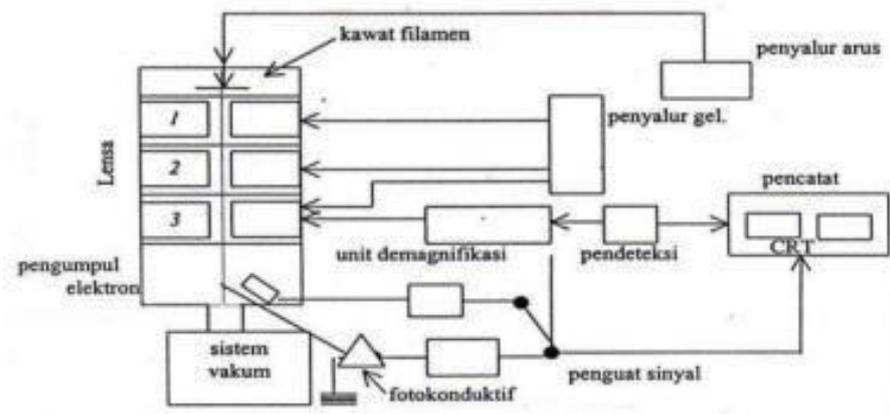
Berdasarkan penelitian Kurniawan (2018), terdapat 9 puncak yang mengandung 9 senyawa yaitu: 15,19 % metanol, 1,77 % dimetil keton, 0,99 % asam format, 53,28 % asam asetat, 1,99 % 2-propanon, 5,31 % 2-furankarbokaldehyda, 0,34 % 2-siklopentanon, 20,05 fenol, dan 1,08 % 2-metoksifenol.

2.10.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM umumnya digunakan untuk karakterisasi susunan serbuk dan melihat retakan pada permukaan sampel. Pada SEM pancaran berkas elektron ditembakkan pada sampel dan akan berinteraksi dengan atom-atom atau elektron dari sampel. SEM menggunakan prinsip *scanning* yaitu elektron diarahkan dari titik ke titik yang lain pada suatu objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca hal ini disebut *scanning*. Gerakan *scanning* tersebut ditimbulkan oleh *scanning coil* sedangkan pantulan dideteksi oleh foto *mulfier*. Data sinyal dari suatu titik sampel ke titik yang lain diperkuat oleh *video amplifier* dan selanjutnya setelah disinkronkan oleh *scanning circuit* digambarkan pada layar CRT (*Cathode Ray Tube*). Layar CRT yang digunakan pada SEM merupakan CRT dengan daya pisah yang sangat tinggi (Eko, 2005).

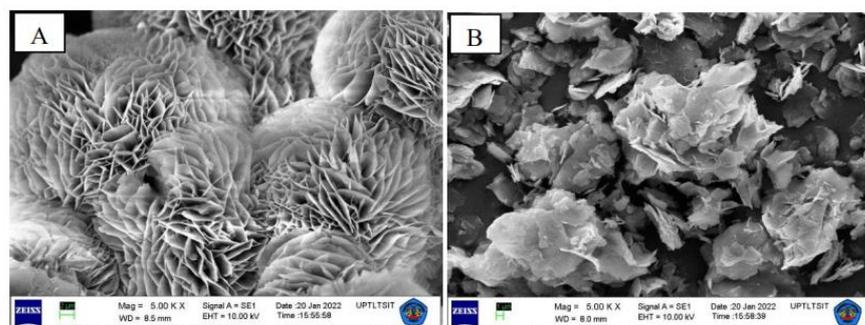
Pada prinsipnya SEM dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi dan distribusi unsur. SEM terdiri dari kolom elektron (*electron column*), ruang sampel

(*sample chamber*), sistem pompa vakum (*vacuum pumping system*), kontrol elektron dan sistim bayangan (*imaging system*) (Handayani dan Sitompul, 1996). Skema bagan SEM ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Skema bagan SEM (Gabriel, 1985).

Analisis menggunakan SEM dalam penelitian ini untuk mengetahui morfologi dari kerak magnesium karbonat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Aprian (2022) hasil analisis morfologi kerak magnesium karbonat mengalami perubahan setelah menggunakan inhibitor asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dimana sebelum menggunakan inhibitor berupa lempengan yang menyatu membentuk butiran dan setelah penambahan inhibitor menjadi lembaran tipis dan kecil. Hal ini dapat terlihat dari hasil SEM yang ditunjukkan oleh Gambar 14.



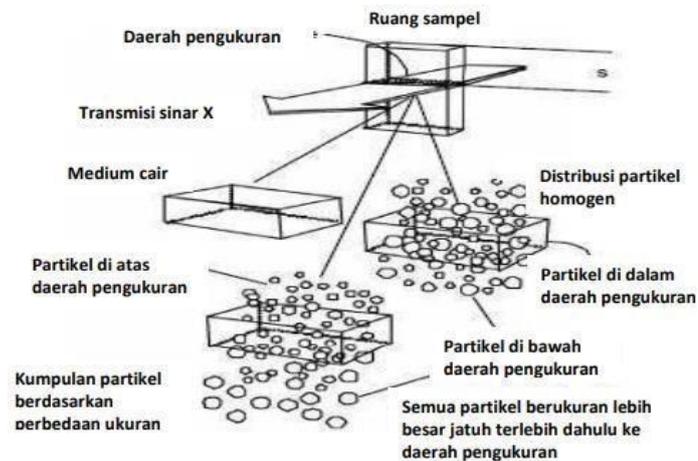
Gambar 14. Morfologi kerak MgCO_3 tanpa penambahan inhibitor (A) dan dengan penambahan inhibitor (B) (Aprian, 2022).

2.10.4 Particle Size Analyzer (PSA)

Particle size analyzer (PSA) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengkarakterisasi distribusi dimensi partikel dalam suatu sampel. PSA dapat diaplikasikan pada material padat, suspensi, emulsi serta aerosol. PSA hanya spesifik untuk memastikan dimensi partikel yang berupa bentuk lingkaran. Selain untuk memastikan dimensi partikel, PSA juga dapat digunakan untuk memastikan volume tiap partikel di dalam sampel. Penggunaan difraksi laser merupakan instrumen yang umum digunakan dalam metode pengukuran partikel. Terutama ukuran partikel 0, 5 μ m- 100 μ m (Nengsih *et al.*, 2013).

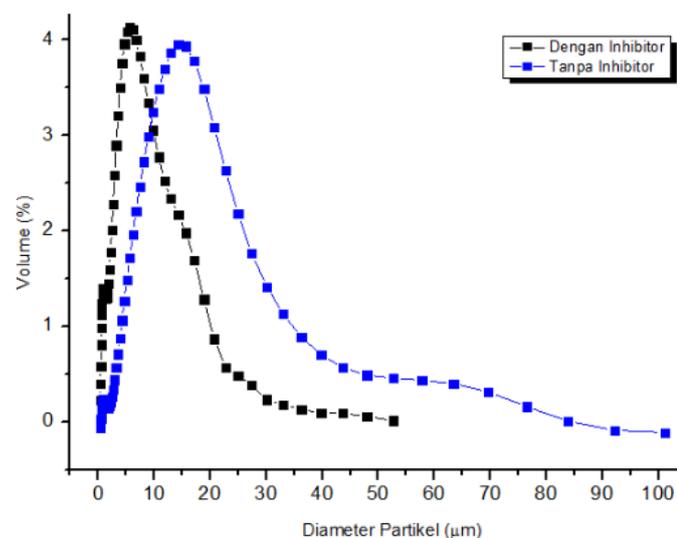
Dasar metode analisis PSA/ sedigraf yaitu pengukuran partikel dengan mengukur kecepatan serta penentuan fraksinasi massa dengan kerelatifan absorpsi sinar-X pada tenaga yang rendah. Sedigraf memakai sinar-X sebagai tanda horizontal tipis untuk mengukur konsentrasi partikel massa secara langsung dalam medium cairan. Hal ini dilakukan pada pengukuran awal intensitas massa, I_{\max} dari garis dasar atau keterangan atau informasi yang ditransmisikan sinar-X yang sudah diproyeksikan melalui medium cairan sebelum pengenalan sampel. Sebagai sirkulasi cairan yang berkelanjutan, sampel berupa padatan dimasukkan ke wadah cairan dan dicampur sampai penyebaran aliran suspensi sampel berupa padatan homogen dan penyebaran cairan dipompa melalui sel (Nengsih *et al.*, 2013).

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_{\min} , untuk transmisi sinar-X dalam skala pengurangan yang penuh. Aliran pencampuran dihentikan dan penyebaran yang homogen dimulai untuk menyelesaikan pentransmisi 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 (Webb, 2002). Proses fraksinasi massa ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf (Webb, 2002).

Analisis menggunakan PSA dalam penelitian ini untuk mengetahui untuk mengetahui distribusi ukuran partikel berukuran nanometer dari kerak magnesium karbonat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Aprian (2022) hasil analisis distribusi partikel dari kerak magnesium karbonat mengalami perubahan setelah menggunakan inhibitor asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dimana sebelum menggunakan inhibitor diameter partikel kerak $MgCO_3$ mencapai $100 \mu m$ dan setelah penambahan diameter partikel $MgCO_3$ menjadi $55 \mu m$. Hal ini dapat terlihat dari hasil PSA yang ditunjukkan oleh Gambar 16.



Gambar 16. Distribusi ukuran partikel $MgCO_3$ (Aprian, 2022).

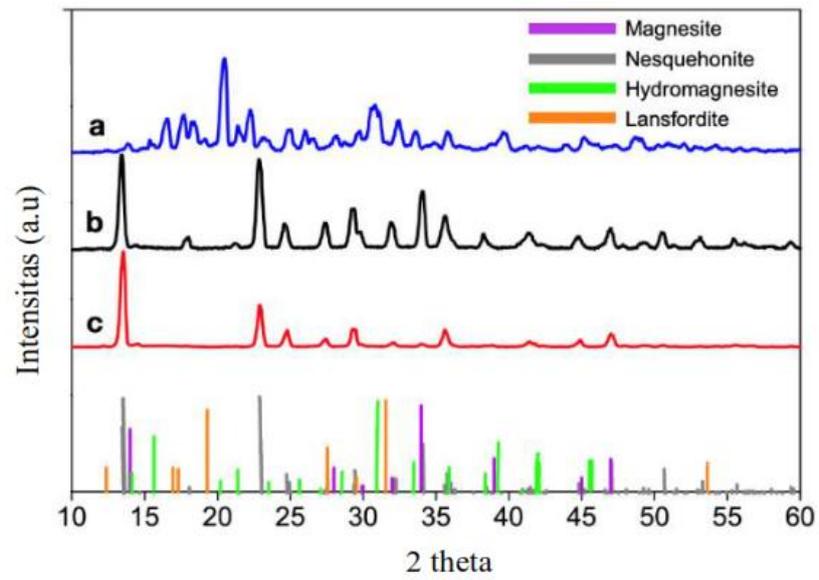
2.10.5 X-Ray Diffraction (XRD)

Suatu sinar x yang monokromatis dengan panjang gelombang tertentu akan menunjukkan nilai sudut difraksi tertentu pula. Jika difraksi terjadi disertai dengan interferensi saling menguatkan, maka nilai sudut tersebut akan ditentukan oleh jarak antarbidang, d . Jarak antarbidang (d) adalah khas untuk setiap hablur, sehingga dengan menetapkan nilai d , maka jenis hablur dapat diidentifikasi. Difraksi yang terjadi pada kristal dengan nilai jarak antar kisi (d) berbeda menyebabkan cukup luasnya daerah I sinar x yang dapat diukur. Pada dasarnya difraktometer sinar x terdiri dari komponen-komponen: sumber sinar x, celah/slit atau monokromator, kristal pendifraksi (kristal sampel atau sel), dan detector (Permanasari dkk., 2016).

XRD dapat digunakan untuk menentukan jenis struktur kristal menggunakan sinar-X. Metode ini digunakan untuk menentukan jenis struktur, ukuran butir, konstanta kisi dan FWHM. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang di antara 400-800 nm (Smallman dan Bishop, 2000). Metode difraksi sinar-X (XRD) didasarkan pada interferensi konstruktif sinar-X monokromatik dalam sampel kristal. Zat kristal yang mengandung jaringan atom dapat mendifraksi sinar-X yang datang dan menghasilkan pola interferensi. Pola yang dihasilkan dapat dianalisis untuk memperoleh informasi tentang struktur atom atau molekul bahan itu dan identitas fasenya. XRD adalah teknik yang cepat dan kuat untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi bahan (Alderton *and* Royal, 2020).

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

Pola XRD yang terbentuk dari analisis menggunakan XRD pada penelitian ini digunakan untuk mengetahui fase kristalin yang terbentuk pada kerak MgCO_3 . Pada Gambar 17 dapat terlihat contoh pola XRD pada kerak MgCO_3 yang terdiri dari fase *magnesite*, *nesquehonite*, *hydromagnesite*, dan *landsfordite*.



Gambar 17. Analisis XRD MgCO_3 (Stopic *et al.*, 2018).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2022-Februari 2023 di Laboratorium Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Analisis menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung, analisis menggunakan *Gas Chromatography- Mass Spectrometry* (GCMS) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada, analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran, dan analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

3.2 Alat dan Bahan

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas, *water bath* (Thermoscientific AC 200/S21), gelas-gelas plastik, pengaduk magnet, spinbar, oven, neraca analitik (Airshwoth AA-160), pH meter, termometer, *rotary evaporator*, spektrofotometer IR merek Cary 630 Agilent, *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS) merk Shimadzu GC2010 MSQP 2010S, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk Zeiss evo MA10, *Particle Size Analyzer* (PSA) merk Coulter LS 13320, dan *X-Ray Diffraction* (X-RD) merk Philip Analytical.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $MgCl_2$ anhidrat, $NaHCO_3$, akuades, asap cair tempurung kelapa *grade 2 (food grade)*, dan kertas saring.

3.3 Prosedur Kerja

3.3.1 Pembuatan Inhibitor

Pada penelitian ini digunakan asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dengan variasi konsentrasi 100, 150, 200, dan 250 ppm. Pembuatan inhibitor diawali dengan pembuatan larutan stok dengan konsentrasi 1000 ppm. Prosedurnya diawali dengan mencari berat jenis dari asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dengan menimbang sebanyak 1 mL di dalam gelas beaker 50 mL dan diketahui berat jenis dari asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* sebesar 0,85046 g/L. Untuk membuat larutan stok dilakukan dengan memasukkan sebanyak 0,85046 g inhibitor AC kemudian ditambahkan dengan 1000 mL akuades di dalam labu ukur hingga tanda batas, lalu dihomogenkan sehingga diperoleh larutan stok dengan konsentrasi 1000 ppm. Untuk membuat larutan inhibitor 100 ppm dilakukan dengan mengambil 100 mL larutan stok kemudian ditambah 1000 mL akuades di dalam labu ukur hingga tanda batas, lalu dihomogenkan sehingga diperoleh inhibitor dengan konsentrasi 100 ppm. Prosedur yang sama dilakukan untuk pembuatan inhibitor dengan konsentrasi 150, 200, dan 250 ppm.

Diukur nilai keasamannya menggunakan pH meter. Kemudian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dilakukan analisis menggunakan FTIR untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terdapat di dalam asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dilakukan pula analisis menggunakan GC-MS.

3.3.2 Pembuatan Bibit Kristal

Bibit kristal dibuat dari $MgCl_2$ 23,75 g yang dilarutkan dalam 250 mL akuades kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60 °C selama 15 menit dan $NaHCO_3$ 21 g dilarutkan dalam 250 mL akuades kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60 °C selama 15 menit. Larutan

MgCl₂ dan NaHCO₃ dicampurkan ke dalam gelas kimia 500 mL serta diaduk, diletakkan di atas *magnetic stirrer* dan diaduk dengan *spinbar* pada suhu 60 °C selama 15 menit hingga mengendap sempurna. Kemudian endapan dipisahkan dengan kertas saring dan endapan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 4 jam. Prosedur ini diulang beberapa kali sampai diperoleh jumlah bibit kristal sebanyak 50 gram dan cukup untuk melakukan prosedur selanjutnya.

3.4 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal MgCO₃

Adapun tahapan untuk menguji pengujian asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal MgCO₃ dengan metode *seeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut:

3.4.1 Penentuan Laju Pertumbuhan MgCO₃ Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari konsentrasi larutan MgCl₂ 0,20 M dan larutan NaHCO₃ 0,20 M masing-masing dalam 150 mL akuades. Setiap larutan diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga homogen selama 15 menit dengan suhu 60 °C. Selanjutnya, larutan MgCl₂ 0,20 M dan larutan NaHCO₃ 0,20 M dicampurkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan suhu 60 °C agar terbentuk kerak MgCO₃ 0,10 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter. Kemudian campuran dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik sebanyak masing-masing 50 mL dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Setelah itu, diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 50 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya diambil setiap 10 menit). Kemudian dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Selanjutnya, endapan ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan MgCl₂ dan NaHCO₃ sebesar 0,30; 0,40 dan 0,50 M untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak MgCO₃ tanpa penambahan inhibitor sebesar 0,15; 0,20; dan 0,25 M. Endapan yang terbentuk ditimbang, kemudian dipilih yang paling efektif dan dianalisis menggunakan SEM untuk mengetahui

morfologi kristalnya, struktur dan karakteristik kristal dianalisis menggunakan XRD, dan distribusi ukuran partikel dalam endapan dianalisis menggunakan PSA.

3.4.2 Penentuan Laju Pertumbuhan $MgCO_3$ dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Seeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,20 M $MgCl_2$ anhidrat dan larutan 0,20 M $NaHCO_3$ masing-masing dalam 150 mL inhibitor (asap cair) 100 ppm. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan $MgCl_2$ anhidrat 0,20 M dan larutan $NaHCO_3$ 0,20 M dicampurkan ke dalam gelas kimia 500 mL dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60 °C agar terbentuk kerak $MgCO_3$ 0,10 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter. Larutan $MgCO_3$ yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 50 menit untuk mencapai kesetimbangan, lalu 15 menit pertama diambil satu gelas, setelahnya setiap 10 menit sekali satu gelas diambil hingga gelas ke-5. Selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan $MgCl_2$ dan $NaHCO_3$ sebesar 0,3; 0,4; dan 0,5 M untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak $MgCO_3$ dengan penambahan inhibitor sebesar 0,15; 0,20; dan 0,25 M, pada variasi konsentrasi inhibitor 150, 200, dan 250 ppm.

3.5 Analisa Data

Data yang diperoleh berupa jumlah endapan kristal magnesium karbonat terhadap waktu dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing diplot sebagai jumlah endapan kristal magnesium karbonat terhadap waktu menggunakan Microsoft Excel. Morfologi kerak $MgCO_3$ sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan SEM. Perubahan ukuran partikel dari kelimpahan $MgCO_3$ pada masing-masing endapan dari setiap percobaan yang dilakukan juga dianalisis dengan PSA. Struktur kristal

MgCO₃ sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan X-RD. Data yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk mengetahui efektivitas inhibitor asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dalam menghambat laju pertumbuhan kerak MgCO₃ dengan menggunakan Persamaan 2 (Suharso dkk., 2019).

$$\% \text{ Efektifitas} = \frac{C_a - C_b}{C_0 - C_b} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

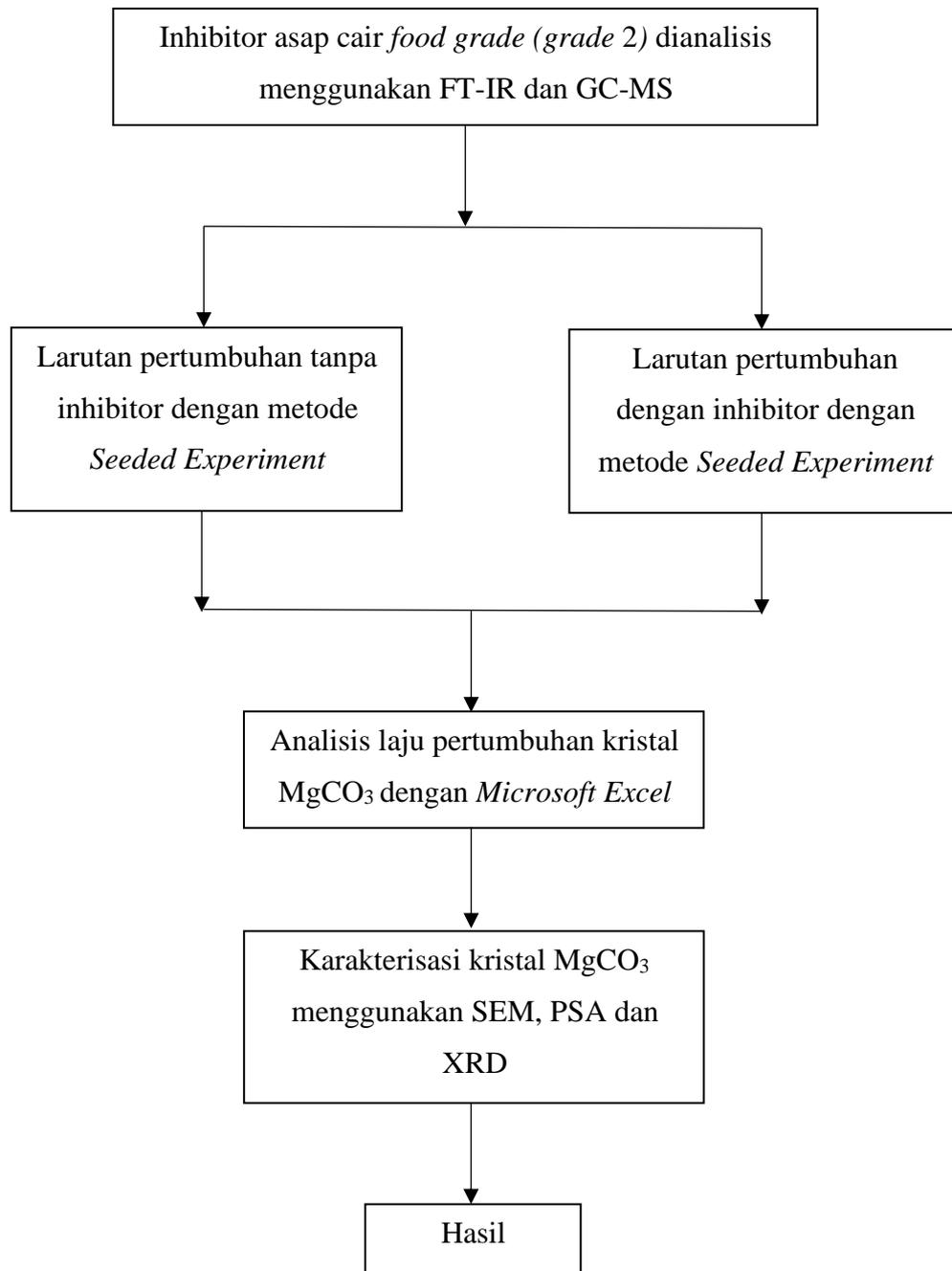
C_a = berat endapan dengan penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

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

C₀ = berat endapan awal (g/L)

3.6 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dari penelitian ini disajikan pada Gambar 18 :



Gambar 18. Diagram Alir Penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Asap cair tempurung kelapa *Food Grade (Grade 2)* dapat digunakan sebagai alternatif inhibitor kerak MgCO_3 , yang ditunjukkan dengan adanya penurunan laju pertumbuhan kerak MgCO_3 , perubahan morfologi, serta perubahan ukuran kerak yang menjadi kecil setelah penambahan inhibitor.
2. Presentase efektivitas inhibitor AC tertinggi berada pada konsentrasi 250 ppm pada kerak MgCO_3 0,10 M sebesar 74,28 %.
3. Analisis distribusi ukuran partikel MgCO_3 menggunakan PSA menunjukkan adanya penurunan nilai rata-rata (*mean*) dan nilai tengah (*median*) setelah penambahan inhibitor AC 250 ppm, dengan selisih *mean* 10,98 μm dan selisih *median* 3,4 μm .
4. Analisis morfologi kerak MgCO_3 menggunakan SEM menunjukkan adanya perubahan morfologi kerak MgCO_3 setelah penambahan inhibitor AC 250 ppm menjadi lempengan kecil.
5. Analisis struktur kristal MgCO_3 menggunakan XRD menunjukkan bahwa kristal MgCO_3 didominasi dengan fasa hidromagnesit. Terdapat penurunan intensitas pada beberapa puncak difraksi 2θ yang berarti telah terjadi kerusakan struktur kristal MgCO_3 setelah penambahan inhibitor AC 250 ppm.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran agar perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak MgCO_3 dengan menggunakan variasi inhibitor dengan kandungan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel, A.N. and Sawada, K. 2003. Inhibition of Adhesion and Precipitation of CaCO_3 by Aminopolyphosphonate. *Journal of Crystal Growth*. 256(1): 188-200.
- Alahmad, M. 2008. Factors Affecting Scale Formation in Sea Water Environment Sean Experimental Approach. *Chemistry Enginerring Technology*. 31(1): 149-156.
- Al-Deffeeri, N.S. 2006. Heat Transfer Measurement as a Criterion for Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plants in Kuwait. *Desalination*. 204(1): 423-436.
- Alderton, D. and Royal, H. 2020. X-Ray Diffraction (XRD). *Department of Earth Sciences, Egham*. United Kingdom.
- Al-Rubaye, A.F., Hameed, I.H., and Kadhim, M.J. 2017. A Review: Uses of Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Technique For Analysis of Bioactive Natural Compounds of Some Plants. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research*. 9(1): 81-85.
- Anam, C., Sirojudin., dan Firdausi, S.K. 2007. Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji, Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR. *Berkala Fisika*. 10(1): 79 – 85.
- Antoni, I., dan Ag, I. 2012. *Evaluasi Penanggulangan Problem Scale pada Flowline Sumur TLJ di PT. PERTAMINA EP ASSET II Field Prabumulih Sumatera Selatan*. Pertambangan STTNS Yogyakarta. Yogyakarta.
- Aprian, R.D. 2022. *Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat (MgCO_3)*. (Tesis). Fakultas MIPA. Universitas Lampung.
- Ariyanto, E. 2013. *Crystallisation and Dissolution Studies of Struvite in Aqueous Solutions*. Curtin University. Australia.
- Asnawati. 2001. Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak. *Jurnal Ilmu Dasar*. 2(1): 1-20.

- Atmaja, A.K. 2009. *Aplikasi Asap Cair Re-Distilasi Pada Karakterisasi Kamaboko Ikan Tongkol (Euthynus Affinis) Ditinjau dari Tingkat Keawetan dan Kesukaan Konsumen*. (Skripsi). Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret.
- Azimi, G. and Papangelakis, V.G.J. 2010. *Fluid Phase Equilibria*. 572(290): 88–94.
- Badr, A., and Yassin, M.A.A. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *Journal of Applied Sciences*. 7(17): 2393-2403.
- Basim, O.H., Graham, J.N., Peter J. A, and Richard, A.C.J. 2012. *Applied Thermal Engineering*. 36(229): 210-218.
- Bhatia, A. 2003. *Cooling Water Problem and Solutions*. Continuing Education and Development, Inc. New York. Course No: 05-09.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G.,S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scales and Deposits*. 701-720.
- Choi, B.C.K., Workplace Health and Hazard Surveillance in The Americas. Pan American. *Journal of Public Health*. 10: 376-381.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A., and King, G. 1999. Fighting Scala Removal and Prevention. *Oilfield Review*. 11(3): 30-45.
- Cullity, B.D., 1987. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wisley Publishing Company.Inc. New York. pp. 493-496.
- Darmadji, P. 2002. Optimasi Pemurnian Asap Cair dengan Metode Redestilasi. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 12(3): 266-271.
- Darmadji, P. 2009. *Teknologi Asap Cair dan Aplikasinya Pada Pangan dan Hasil Pertanian*. Teks Pidato Pengukuhan Guru Besar Bidang Bioteknologi Pangan dan Hasil Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Demadis, K.D., Lykoudis, P., Raptis, R.G., and Mezei, G. 2006. Phosphonopolycarboxylates as Chemical Additives for Calcite Scale Dissolution and Metallic Corrosion Inhibition Based on a Calcium-Phosphonotricarboxylate Organic-Inorganic Hybrid. *Crystal Growth Desalination*. 6(5): 1064-1067.
- Dewi dan Ali. 2003. Kinetic Study Of Electrocrystalization On Calcium Carbonate on Metallic Substrates. *Journal Of Crystal Growth*. 291 (2):428-435.

- Donachy, J.E. and Sikes, C.S. 1994. Thermal Polycondensation Synthesis of Biomimetic Serine-Containing Derivatives Polyaspartate: Potent Inhibitors of Calcium Carbonate Phosphate Crystallisation. *Journal of Polymer Science*. 32(4): 789-795.
- Dyer, S.J. and Graham, G.M. 2003. Thermal Stability of Generic Barium Sulphate Scale Inhibitor Species Under Static And Dynamic Conditions. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 37(3): 171-181.
- Eko, S. 2005. *Mekanisme Penguatan Mortar Terhadap Penambahan Bubuk Silica*. Departemen Fisika. Medan.
- El Dahan, H.A. and Hegazy, H.S. 2000. Gypsum Scale Control by Phosphate Ester. *Desalination*. 127(2): 111-118.
- Fauzan dan Ikhwanus, M. 2017. *Pemurnian Asap Cair Tempurung Kelapa Melalui Distilasi dan Filtrasi Menggunakan Zeolit dan Arang Aktif*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Gabriel, B. 1985. A User's Manual for Material Science. American Society for Metal. *SEM*. 5(1): 105-106.
- Gal, J.Y., Fovet, Y., and Gatche, N. 2002. Mechanism of Scale Formation and Carbon Dioxide Partial Pressure Influence. Part I. Elaboration of an Experimental Method And Scaling Model. *Water Research*. 36(3): 755-763.
- Gandjar, I.G. dan Rohman, A. 2012. *Analisis Obat Secara Spektrofotometri dan Kromatografi*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Gorbatov, V.M., N.N. Krylova, V.P., Volovinskaya., Yu, N., Lyaskovskaya, K.L., Bazorava, R.I., Khlamova., and Ya, G.Y. 1971. Liquid Smoke for Use in Cured Meats. *Food Tech*. 25(1) : 71-77.
- Gross, J.H. 2017. *Mass Spectrometry A Textbook, Third Edition*. Springer. New York.
- Gumanti, F.M. 2006. *Kajian Sistem Produksi Destilat Asap Tempurung Kelapa dan Pemanfaatannya sebagai Alternatif Bahan Pengawet Mie Basah*. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*. Laporan Penelitian Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Handayani, A. dan Sitompul, A.S. 1996. *Teknik Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM-EDAX*. Makalah Kunjungan dan Demo PTBIN BATAN. Serpong.

- Harjanti, R.S., Purwanti, E., dan Sarto. 2003. *Zat Warna Kunyit (Kurkumin) Sebagai Indikator Titrasi Asam Basa*. Prossiding Semnas Teknik Kimia Indonesia.
- Hasan, M., Rahmayani, R.F.I., dan Fitri, Z. 2017. *Buku Ajar Ikatan Kimia*. Syiah Kuala University Press. Aceh.
- Hasson, D., and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. 46(1):7-104.
- He, S., Kan, A.T., and Tomson, M.B. 1999. Inhibition of Calcium Carbonate Precipitation in NaCl Brines from 25 to 90°C. *Application of Geochemistry*. 14(1): 17-25.
- Irianty, R.S., dan Sembiring, M.P. 2012. Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Gambir dengan Pelarut Etanol-Air Terhadap Laju Korosi Besi pada Air Laut. *Jurnal Riset Kimia*. 5(2): 165-174.
- Jamilatun, S. dan Salamah, S. 2015. Peningkatan Kualitas Asap Cair Dengan Menggunakan Arang Aktif. *Prosiding Simposium Nasional Teknologi Terapan*. 3: 19-24.
- Jones, D.A. 2006. *Principles and Prevention of Corrosion 2nd Edition*. Prentice Hall. USA.
- Karliana, I. 2009. *Studi Inhibitor Kaliksarena Pada Sistem Pendingin Sekunder RSG-Gas*. Buku I Prosiding. PPI – PDIPTN. Yogyakarta.
- Knepper, T.P. 2003. Synthetic Chelating Agents and Compounds Exhibiting Complexing Properties in The Aquatic Environment. *Trend in Analytical Chemistry*. 22(10) :708-724.
- Kragh, L.G., Sanderson, W.G., and Sumner, R.B. 1981. *Waste Heat Disposal Process*. Patent No. US 4299786 A.
- Krisolita, W.N. 2021. *Kajian Metode Sanitasi Terhadap Jenis Peralatan Berbentuk Pipa Untuk Industri Minuman*. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Katolik Soegijapranata. Semarang.
- Kurniawan, Y.H. 2018. *Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃) Menggunakan Metode Unseeded Experiment*. (Skripsi). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Lafifah, S.N. 2000. *Estimasi Pembentukan Endapan Alkali dalam Proses Desalinasi Secara MSF*. Prosiding Penelitian Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-VI. P2TKN-Batan. Serpong.
- Lestari, D. E. 2008. *Kimia Air, Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Riset*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN. Serpong.

- Lestari, D. E., Sunaryo, G.R., Yulianto, Y.E., Alibasyah, S., dan Utomo, S.B. 2004. *Kimia Air Reaktor Riset G.A.Siwabessy*. Makalah Penelitian P2TRR dan P2TKN BATAN. Serpong.
- Manoli, F., Kanakis, J., Malkaj, P., and Dalas, E. 2003. The Effect of Amino Acids on The Crystal Growth of Calcium Carbonate. *Journal of Crystal Growth*. 53(1): 105-111.
- Mullin, J.W. 2004. *Heat Pipes*. Butterworth Heinemann. New York.
- Muryanto, S., Bayuseno, A.P., Sediono, W., Mangestiyono, W., Sutrisno. 2012. Development of A Versatile Laboratory Project For Scale Formation and Control. *Chemical Engineers*. 73(4): 74-84.
- Natasha, N.C., Irawan, J., Sulistiyono, E., Yunita, F.E., and Rhamdani, A.R. 2019. *Uji Karakteristik Magnesium Karbonat Sintetis Dari Mineral Dolomit*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Nengsih, N.Y., Putri, F.H., Rizki, M.P., dan Roni, M.R. 2013. *Biofungisida Nanopartikel Perak Dari Lactobacillus Delbrueckii Subsp. Bulgaricus*. PKM Penelitian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nurhasanah, E. 2008. *Perancangan Alat untuk Membuat Asap Cair dari Tempurung Kelapa dan Karakterisasinya*. (Tesis). Pascasarjana Kimia Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Pavia, D.L. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques. 4th Edition*. Brooks Cole/Thomson. United State. 990.
- Permanasari, A., Zulkiah., Asep, S., dan Wiwi, S. 2016. *Kimia Analitik Instrumen*. Penerbit Universitas Terbuka. Tangerang.
- Putri, D.D., Nurmagustina, D.E., dan Chandra, A.A. 2014. Kandungan Total Fenol Dan Aktivitas Antibakteri Kelopak Buah Rosela Merah Dan Ungu Sebagai Kandidat Feed Additive Alami Pada Broiler. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 14(3):174-180.
- Raharjo, S. 2020. *Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral Di Dalam Pipa*. Universitas Muhamadiyah Semarang. Semarang.
- Raharjo, S., Muryanto, S., Jamari, J., dan Bayuseno, A.P. 2018. *Controlling of Magnesium Carbonate Scale Deposition on the Piping System with Laminar Flow and in The Presence of Alumina*. AIP Conference Proceedings. 1997(1): 1-6.
- Rahmania, Y. 2012. *Studi Pendahuluan Ekstrak Kulit Kakao (Theobroma Cacao L.) dan Nalco 72990 Sebagai Inhibitor Pembentuk Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)*. (Skripsi). Fakultas MIPA. Universitas Lampung.

- Ratna, P.S. 2011. *Studi Penanggulangan Problem Scale dari Near- Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*. (Skripsi). Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Ridhuan, K., Irawan, D., dan Rizki, I. 2019. Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*. 8(1): 69-78.
- Rini, H.U. 2016. *Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO₄)*. (Tesis). Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Salimin, Z., dan Gunandjar. 2007. *Penggunaan EDTA sebagai Pencegah Timbulnya Kerak pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair*. Prosiding HALI-PDIPTN. Pustek Akselerator dan Proses Bahan. BATAN. Yogyakarta.
- Sari, T.S. dan Bayuseno, A.P. 2015. Analisis Pembentukan Kerak Di Dalam Pipa Pdam Semarang. *Jurnal Teknik Mesin Undip*. 1(3): 65-74.
- Septiapribadi, A.W. 2010. *Studi Penyebab Scale di Lapangan-Lapangan Minyak Sumatera*. LPL. 1(3): 227-245.
- Siswoyo, K.E. 2005. Identifikasi Pembentukan Scale. *Proceeding Simposium Nasional IATMI*. Padang.
- Sitorus, M. 2009. *Spektroskopi (Elusidasi Struktur Molekul Organik)*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Smallman, R.E., and Bishop, R.J. 2000. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Hill International Book Company. New York.
- Soediono, W., Bayuseno, A. P., dan Muryanto, S. 2011. Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum dengan Konsentrasi Ca²⁺ ; 3500 ppm dan Aditif Fe²⁺. *Momentum*. 7(2): 41-44.
- Stamatakis, E., Chatzichristos, C., Sagen, J., Stubos, A.K., Palyvos, I., Muller, J., and Stokkan, J.A. 2006. An Integrated Radiotracer Approach for The Laboratory Evaluation of Scale Inhibitors Performance in Geological Environments. *Chemical Engineering Science*. 61(21): 7057-7067.
- Suharso, Buhani, and Suhartati, T. 2009. The Role of C-Methyl-4,10,16,22 Tetramethoxy Calix[4] Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO₃) 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. 2015. *Penanggulangan Kerak (2nd)*. Graha Ilmu. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix [4] Arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. 26 (18): 6155–6158.
- Suharso, Buhani, Suhartati, T., dan Aprilia, L. 2007. *Sintesis-Metil-4,10,16,22-Tetrametoksi Kaliks[4]Arena dan Peranannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)*. Laporan Akhir Program Insentif. Unversitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, G., Parkinson, and Ogden, M. 2008. *AFM Investigation of Borax (100) Face: Two- Dimensional Nucleation Growth*. *Advances in Natural and Applied Sciences*. 2(3): 135-141.
- Suharso. 2004. Effect of Sodium Lauryl Sulphate (SLS) on Growth Rate and Morphology of Borax Crystals. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 10(3): 165-172.
- Suharso. 2009a. Ex Situ Investigation of Surface Topography of Borax Crystals by AFM: Relation Between Growth Hillocks and Supersaturation Interpreted by Spiral Growth Theory. *Jurnal Matematika dan Sains*. 11(4): 140-145.
- Suharso. 2009b. In Situ Measurement of the Growth Rate of the (111) Face of Borax Single Crystal. *Jurnal Matematika dan Sains*. 10(3): 101-106.
- Suharso. 2010c. Growth of the (001) Face of Borax Crystals. *Indonesian Journal of Chemistry*. 5(2): 98-100.
- Suharso. 2010d. Growth Rate Distribution of Borax Single Crystals on The (001) Face Under Various Flow Rates. *Indonesian Journal of Chemistry*. 6(1): 16- 19.
- Suharso. 2007a. Effect of Sodium Dodecylbenzenesulfonic Acid (SDBS) on the Growth Rate and Morphology of Borax Crystal. *Indonesian Journal of Chemistry*. 7(1): 5-9.
- Suharso. 2010a. Characterization of Surface of The (010) Face of Borax Crystals Using Ex Situ Atomic Force Microscopy (AFM). *Indonesian Journal of Chemistry* .5(3): 274-277.
- Suharso. 2010b. Mechanism of Borax Crystallization Using Conductivity Method. *Indonesian Journal of Chemistry*. 8(3): 327-330.
- Suharso. 2012. Characterization of Surface of the (100) Face of Borax Crystals Using Atomic Force Microscopy (AFM): Dislocation Source Structure And Growth Hillocks. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 3(2): 105-110.

- Suharso. 2012a. Ex Situ Investigation of the Hollow Cores on the Surface Topography of the (100) Face of Borax Crystals by Atomic Force Microscopy (AFM). *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 4(1).
- Suharso and Buhani. 2019. *Penghambat Kerak Ramah Lingkungan. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*. Universitas Lampung. ISBN: 978-623-228-044-1.
- Supratman, U. 2010. *Ekiulibrium Penentuan Senyawa Organik*. Padjajaran. Bandung.
- Tranggono, S.S., Supranto, B., Darmadji, P., dan Sudarmanto .1996. Identifikasi Asap Cair dari Berbagai Jenis Kayu dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 1(2) : 15-24.
- Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., and Andritsos, N. 2007. A Study of CaCO₃ Scale Formation and Inhibition in RO and NF Membrane Processes. *Desalination*. 296(1) : 171-184.
- Vela, M.G., Setiawan, R., Metha, N.K., Tiyas, A., Anggita, A.R., Anisa, N.I., Annisa, D.S., Kustomo dan Novtavia, S.P. 2021. Chemical Bonds: An Integration with Islamic Brotherhood Values. *Jurnal Studi Islam*. 16(2): 121-133.
- Wafiroh, S. 1995. *Pemurnian Garam Rakyat Dengan Kristalisasi Bertingkat*. Laporan Penelitian. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Webb, P.A. 2002. *Interpretation of Particle Size Reported by Different Analytical Technique*.
- Yunus, M. 2011. Teknologi Pembuatan Asap Cair Dari Tempurung Kelapa Sebagai Pengawet Makanan. *Jurnal Sains dan Inovasi*. 7(1): 53-61.
- Zeihner, E.H.K., Bosco, H., and Williams, K. D. 2003. Novel Antiscalant Dosing Control. Elsevier Science B. V. *Desalination*. 157(1): 209-216.
- Zhang, K., Sun, M., Werner, P., Kovera, A.J., Albu, J., Pi-Sunyer, F. X., and Boozer, C.N. 2002. Sleeping Metabolic Rate in Relation to Body Mass Index and Body Composition. *International Journal of Obesity Relations Metabolic Disorder*. 26(3): 376-383.