

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT DAN
EKSTRAK BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) SEBAGAI
INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)**

(Skripsi)

Oleh

Nadira Anjani

2117011101



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

ABSTRAK

STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT DAN EKSTRAK BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIMUM KARBONAT (CaCO_3)

Oleh

Nadira Anjani

Pembentukan kerak menjadi masalah serius yang dihadapi sebagian besar bidang industri. Penumpukan kerak seperti kalsium karbonat (CaCO_3) akan mengurangi efisiensi proses aliran fluida dan mempersempit diameter pipa. Oleh karena itu, dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian inhibitor campuran asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak mengkudu (AM) untuk menghambat pertumbuhan kerak CaCO_3 menggunakan metode *seeded experiment*. Larutan pertumbuhan CaCO_3 sebesar 0,0250; 0,0375; 0,0500; dan 0,0675 M diujikan pada variasi perbandingan konsentrasi inhibitor AM 5:2, 5:4, 5:6, dan 5:8.

Nilai persentase efektifitas yang paling tinggi yaitu pada inhibitor dengan perbandingan konsentrasi inhibitor campuran AM 5:8 terhadap larutan pertumbuhan dengan konsentrasi 0,0250 M sebesar 160,15 %. Hasil karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) setelah ditambahkan inhibitor morfologi kristal CaCO_3 didominasi aragonit dan muncul fasa vaterit. Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) setelah penambahan inhibitor menunjukkan adanya penurunan intensitas dengan perbedaan fasa kristal dari kristal *hardscale* (kalsit) menjadi *softscale* (aragonit dan vaterit). Analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan bahwa kerak CaCO_3 sebelum dan setelah penambahan inhibitor mengalami penurunan ukuran kristal yakni nilai rata-rata (*mean*) dari 70,92 μm menjadi 53,12 μm dan nilai tengah (*median*) dari 29,28 μm menjadi 19,27 μm .

Kata Kunci: Mengkudu, inhibitor, CaCO_3 , kerak

ABSTRACT

STUDY OF THE ADDITION OF LIQUID SMOKE FROM PALM SHELLS AND NONI FRUIT EXTRACT (*Morinda citrifolia*) AS CALCIUM CARBONATE (CaCO_3) SCALE INHIBITORS

By

Nadira Anjani

Scale formation is a serious problem faced by most industrial fields. The accumulation of scale such as calcium carbonate (CaCO_3) will reduce the efficiency of the fluid flow process and narrow the pipe diameter. Therefore, in this study, a test of a mixture of liquid smoke inhibitors from palm shells and mengkudu extract (AM) was conducted to inhibit the growth of CaCO_3 scale using the seeded experiment method. CaCO_3 growth solutions of 0.0250; 0.0375; 0.050; and 0.0675 M were tested at variations in the AM inhibitor concentration ratio of 5:2, 5:4, 5:6, and 5:8. The highest percentage of effectiveness was in the inhibitor with a mixture of AM inhibitor concentration ratio of 5:8 to the growth solution with a concentration of 0.0250 M of 160.15%. The results of characterization using Scanning Electron Microscopy (SEM) after the addition of inhibitors, the CaCO_3 crystal morphology was dominated by aragonite and the vaterite phase appeared. Analysis using X-Ray Diffraction (XRD) after the addition of inhibitors showed a decrease in intensity with a difference in crystal phase from hardscale crystals (calcite) to softscale (aragonite and vaterite). Analysis using Particle Size Analyzer (PSA) showed that the CaCO_3 crust before and after the addition of inhibitors experienced a decrease in crystal size, namely the average value (mean) from 70.92 μm to 53.12 μm and the middle value (median) from 29.28 μm to 19.27 μm .

Keywords: Noni, inhibitor, CaCO_3 , scale

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR CANGKANG KELAPA SAWIT DAN
EKSTRAK BUAH MENGKUDU (*Morinda citrifolia*) SEBAGAI
INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)**

Oleh

Nadira Anjani

Skripsi

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

Pada

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



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

**Judul : STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR
CANGKANG KELAPA SAWIT DAN
EKSTRAK BUAH MENKUDU (*Morinda
citrifolia*) SEBAGAI INHIBITOR KERAK
KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)**

Nama Mahasiswa : Nadira Anjani

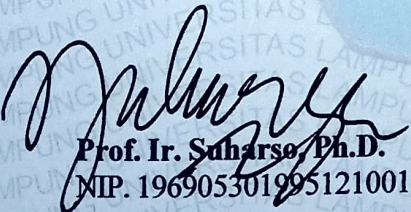
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011101

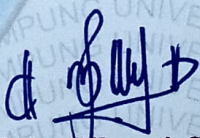
Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


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


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

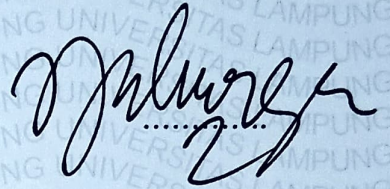
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung


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

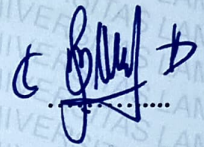
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

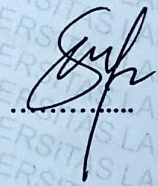


Sekretaris : **Prof. Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**



Penguji

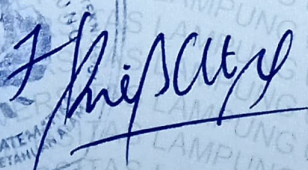
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Buhani, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **17 Juli 2025**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Nadira Anjani
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117011101
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan ini sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Studi Penambahan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit dan Ekstrak Mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)” adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025

Yang Menyatakan



Nadira Anjani

NPM. 2117011101

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Nadira Anjani dilahirkan di Pekurun, 07 Desember 2003 yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Halusi HS dan Ibu Riyana. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 1 Pekurun Tengah pada tahun 2015 dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Abung Pekurun lulus pada tahun 2018. Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Abung Pekurun lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Universitas Lampung, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa kimia, penulis juga aktif berorganisasi mulai sebagai kader muda dan anggota inti Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) 2021-2023. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA pada 2021 dan mengikuti BKP Membangun Desa di Desa Rejomulyo, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan pada tahun 2023. Penulis juga melaksanakan praktik kerja lapangan (PKL) yang berjudul Skrining Betametason, Dekametason, Prednison, dan Prednisolon dalam Obat Tradisional Secara Kromatografi Lapis Tipis dan Spektrofotodensitometri di Laboratorium Balai Besar POM Bandar Lampung selama 1 bulan pada 01 Juli-31 Juli. Penulis melakukan penelitian di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung sejak Bulan Oktober-Maret 2025 yang diberi Judul Studi Penambahan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit dan Ekstrak Mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3).

MOTTO



"Allah Tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya"

(Q.S Al-Baqarah : 286)

"Jika bukan karena allah yang mampukan, aku mungkin sudah lama menyerah"

(Q.S Al-Insyirah : 5-6)

"Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkan ku tidak akan pernah menjadi takdirku dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkan ku"

(Umar Bin Khattab)

"Hidup bukan untuk saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri"

(Baskara Putra - Hindia)

"Berbagai cobaan dan hal yang buat kau ragu, jadikan percikan tuk menempa tekadmu jalan hidupmu hanya milikmu sendiri, rasakan nikmatnya hidupmu hari ini"

(Baskara Putra - Hindia)

PERSEMBAHAN



Dengan mengucapkan alhamdulillahillobbil'amin puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, shalawat semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa diharapkan syafaatnya. Kupersembahkan karya sederhana ini sebagai wujud cinta, bakti, dan tanggung jawabku kepada:

Orang Tuaku Tersayang

Bapak Halusi HS. dan Ibu Riyana, yang tak henti-hentinya selalu hadir memberikan cinta, kasih sayang, doa dan dukungan dalam mendukung keberhasilan dan motivasi dalam menyelesaikan karya ini.

Kakak, adik, dan keluarga besar yang selalu memberi semangat dan motivasi dalam menyelesaikan karya ini.

Pembimbing penelitianku, Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D., Dr. Mita Rilyanti S.Si., M.Si., dan Prof. Dr. Buhani, M.Si. serta dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat.

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu dinantikan syafaat-Nya di Yaumil Akhir nanti. Aamiin ya rabbal alamin sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Penambahan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit dan Ekstrak Mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)”**.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun itu semua bisa terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Suharso, S.Si., Ph.D., selaku pembimbing satu yang telah sabar membimbing, memberikan ilmu, motivasi dan memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Ibu Dr. Mita Rilyanti S.Si., M.Si., selaku pembimbing dua yang telah membimbing, memberikan ilmu, masukan serta saran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku penguji dan pembahas yang telah memberikan kritik, saran, dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

4. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik yang memberikan dukungan dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ibu Mita Rilyanti S.Si. M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung atas ketulusan dedikasinya.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung atas ketulusan dedikasinya.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia yang telah mengajarkan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menjadi mahasiswa jurusan kimia
8. Cinta pertama dan panutanku, Ayahanda Halusi HS dan pintu surgaku Ibu Riyana. Terima kasih atas segala pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan. Beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan bangku kuliah, tetapi mereka mampu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan studi dan menjadi seorang sarjana kimia. Semoga kalian sehat, panjang umur, dan bahagia selalu.
9. Kakak, adik dan keluarga besar penulis yang selalu mendukung penulis, kemudian memberikan pelukan terhangat sebagai tempat pulang melepas rindu dari kesibukan perkuliahan.
10. Zelvin Vewi Saputra yang telah membersamai penulis bukan hanya di akhir cerita tetapi menjadi penopang semangat sejak perjalanan ini dimulai, ditengah rasa ragu yang seringkali datang tiba-tiba selalu menjadi pengingat bahwa peneliti tidak sendiri, selalu meyakinkan bahwa proses ini harus diperjuangkan. Terima kasih atas dukungan dan semangat serta menjadi tempat untuk berkeluh kesah.
11. Sahabat Divalovers Jojo, Trie, dan Naura. Terima kasih karena kalian semua walaupun mulanya kita asing momen perkuliahan terasa menyenangkan dan berkesan. *“See you on top guys”*.
12. Sahabat Keluarga Bahagia, terima kasih telah menjadi penyemangat, selalu saling mendoakan dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

13. Asrama Putri Ayu atau Kita Ramean: Hanna, Rika, Lili, Ulma, Tyas, Hasma, Avi, Ayu, Caca, Vanessa. Terima kasih sudah hadir mewarnai hari sebagai anak kostan bersama-sama menjadi pejuang S.Si.
14. Sahabat seperjuangan penelitian Jojo, Ainun, Zuan, Rachel terima kasih sudah menjadi teman melalui suka dan duka selama penelitian.
15. Teman-teman Membangun Desa, terima kasih telah bersama dalam hampir 6 bulan yang menyenangkan dan memberikan semangat serta dukungan kepada penulis. Semoga kalian dipermudah dalam segala urusannya.
16. Kakak tingkat superbimbingan Kak Fara dan Kak Sarah, terima kasih sudah memberikan ilmu dan menemani perjalanan selama penelitian dari nol tidak mengerti dan banyak tanya-tanya, selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih banyak dan maaf telah banyak merepotkan semoga kakak semua sehat selalu dan sukses.
17. Teman-teman Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang menemani dan membantu penulis selama penelitian sehingga menjadi semangat bagi penulis.
18. Nadira Anjani, ya! Diri saya sendiri. Apresiasi sebesar-besarnya yang telah berjuang untuk menyelesaikan apa yang telah dimulai. Sulit bisa bertahan sampai di titik ini, terimakasih telah memilih untuk terus melangkah meski tidak selalu mudah. Semoga kamu tidak pernah lupa untuk bangga pada dirimu sendiri.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 17 Juli 2025
Penulis

Nadira Anjani
NPM. 2117011101

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengendapan Senyawa Anorganik	5
2.2 Kerak	6
2.3 Mekanisme Pembentukan Kerak	8
2.4 Metode Pencegahan Pembentukan Kerak (CaCO_3)	12
2.5 Kalsium Karbonat (CaCO_3)	14
2.6 Buah Mengkudu (<i>Morinda citrifolia</i>)	15
2.7 Asap Cair Cangkang Kelapa sawit	17
2.8 Metode <i>Seeded Experiment</i>	19
2.9 Analisis dan Karakterisasi Kerak	19
2.9.1 Spektrofotometri <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR)	20
2.9.2 <i>Gas Chromatography - Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	21
2.9.3 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	22
2.9.4 <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	23
2.9.5 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	24
III. METODE PERCOBAAN	26
3.1 Waktu dan Tempat	26
3.2 Alat dan Bahan	26
3.3. Prosedur Penelitian	27
3.3.1 Pembuatan Inhibitor dari Ekstrak Buah Mengkudu dengan Variasi Konsentrasi Berbeda	27
3.3.2. Pembuatan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit	28
3.3.3. Pembuatan Inhibitor dari Campuran Ekstrak Buah Mengkudu dan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit.	29
3.3.4. Pembuatan Bibit Kristal	29

3.3.5 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaCO ₃	30
3.4 Analisis Data	32
3.5 Diagram Alir Penelitian	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Analisis Inhibitor Menggunakan Spektrofotometer Inframerah (IR) ...	34
4.2 Analisis Inhibitor Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS)	36
4.3 Laju Pertumbuhan CaCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda	42
4.4 Laju Pertumbuhan CaCO ₃ dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	43
4.4.1 Laju pertumbuhan CaCO ₃ dengan penambahan inhibitor asap cair cangkang kelapa sawit.....	43
4.4.2 Laju pertumbuhan CaCO ₃ dengan penambahan inhibitor ekstrak buah mengkudu	45
4.4.2 Laju Pertumbuhan CaCO ₃ dengan Inhibitor Campuran Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit dan Ekstrak Mengkudu.....	49
4.5 Analisis Kualitatif Kerak Kalsium Karbonat (CaCO ₃).....	54
4.6 Analisis Permukaan Kerak CaCO ₃ Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	55
4.7 Karakterisasi Struktur Kerak CaCO ₃ Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	57
4.8 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	60
4.9 Uji Ketahanan Inhibitor Campuran Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit dan Ekstrak Mengkudu	62
V. SIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Simpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pembentukan kerak pada pipa	7
2. Nukleasi homogen	9
3. Nukleasi heterogen	10
4. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak	12
5. Buah Mengkudu.....	16
6. Skema pembuatan Asap Cair	18
7. Skema kerja Spektrofotometer IR.....	20
8. Skema alat instrumentasi GC-MS	21
9. Pola XRD kerak CaCO_3 (a) tanpa aditif asam tartrat, (b) aditif 4 ppm, (c) aditif 6 ppm dan (d) aditif 10 ppm	23
10. Distribusi ukuran partikel kristal CaCO_3 tanpa adanya inhibitor dan dengan adanya 300 ppm inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,1 M.....	24
11. Morfologi kristal CaCO_3 (a) dengan adanya inhibitor 300 ppm pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,1 M (b) tanpa adanya inhibitor	25
12. Diagram alir penelitian.....	33
13. Spektrum FTIR (a) ekstrak mengkudu (b) asap cair cangkang kelapa sawit.	35
14. Kromatogram Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit.....	36
15. Kromatogram ekstrak mengkudu.....	39
16. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 tanpa inhibitor dengan berbagai variasi konsentrasi larutan pertumbuhan.....	42
17. Perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 pada inhibitor asap cair (a) 0,0250 M, (b) 0,03750 M, dan (c) 0,0500 M.	44
18. Grafik efektivitas inhibitor Asap Cair	45

19. Perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 pada inhibitor ekstrak mengkudu (a) 0,0250 M, (b) 0,03750 M, dan (c) 0,0500 M.....	47
20. Grafik efektivitas inhibitor ekstrak mengkudu	48
21. Laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan inhibitor AM (a) 0,0250 M, (b) 0,3750 M, (c) 0,0500 M, dan (d) 0,06250 M.	51
22. Grafik efektivitas campuran inhibitor AM variasi larutan pertumbuhan	52
23. Pertumbuhan CaCO_3 (0,0250) M (a) Tanpa penambahan inhibitor, (b) dengan penambahan inhibitor dan (c) Perbandingan larutan pertumbuhan.	54
24. Kristal kerak CaCO_3 0,0250 M (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor AM (5:8).....	55
25. Morfologi kerak CaCO_3 pada konsentrasi 0,0250 M perbesaran 2000x (a) tanpa penambahan inhibitor (b) Dengan penambahan inhibitor AM (5:8)....	56
26. Morfologi kerak CaCO_3 pada konsentrasi 0,0250 M perbesaran 5000x (a) tanpa penambahan inhibitor (b) Dengan penambahan inhibitor.....	56
27. Pola XRD kerak CaCO_3 (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor AM (5:8).....	58
28. Mekanisme penghambatan kerak CaCO_3 oleh inhibitor AM 5:8.....	60
29. Distribusi ukuran partikel CaCO_3 (a) dengan penambahan inhibitor AM 5:8 (b) tanpa penambahan inhibitor.....	61
30. Uji ketahanan inhibitor (a) Ekstrak buah mengkudu sebelum ditambahkan asap cair cangkang kelapa sawit (b) setelah ditambahkan asap cair cangkang kelapa sawit dengan perbandingan (5:8).....	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak buah mengkudu (M) dan asap cair cangkang kelapa sawit (A).....	29
2. Komponen asap cair cangkang kelapa sawit hasil penelitian.	37
3. Komponen senyawa asap cair cangkang kelapa sawit.	38
4. Kandungan kimia dalam ekstrak mengkudu.	40
5. Perbandingan kandungan kimia ekstrak mengkudu pada penelitian lain	41
6. Nilai pH ekstrak mengkudu dan larutan pertumbuhan CaCO_3 sebelum dan sesudah penambahan ekstrak mengkudu.	46
7. Data persentase efektivitas inhibitor ekstrak mengkudu.....	48
8. Nilai pH campuran inhibitor asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak mengkudu.....	49
9. Data persentase efektivitas campuran inhibitor AM.	52
10. Dengan penambahan asap cair kerak CaCO_3 0,0250 M.....	74
11. Dengan penambahan asap cair kerak CaCO_3 0,3750 M.....	74
12. Dengan penambahan asap cair kerak CaCO_3 0,0500 M.....	75
13. Dengan penambahan ekstrak mengkudu kerak CaCO_3 0,0250 M.....	76
14. Dengan penambahan ekstrak mengkudu kerak CaCO_3 0,0375 M.....	76
15. Dengan penambahan ekstrak mengkudu kerak CaCO_3 0,0500 M.....	77
16. Dengan asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu kerak CaCO_3 0,0250 M.....	78
17. Dengan asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu kerak CaCO_3 0,0375 M.....	79

18. Dengan asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu kerak
CaCO₃ 0,0500 M..... 80
19. Dengan asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu kerak
CaCO₃ 0,0625 M..... 81

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia telah mengalami perkembangan industri sejak lama. Sebagian besar industri menggunakan pipa untuk mengangkut suatu zat dari satu tempat ke tempat yang lain, yang dikenal sebagai proses aliran fluida. Pergerakan aliran fluida yang terus-menerus melalui pipa dapat menimbulkan masalah serius, karena jika dibiarkan terlalu lama, penumpukan kerak akan terjadi akibat pengendapan garam-garam mineral pada permukaan dinding pipa (Suharso *et al.*, 2009). Penumpukan kerak dalam peralatan industri merupakan masalah yang dihadapi sebagian besar peralatan industri, terutama terjadi pada dinding permukaan alat evaporasi dan dinding permukaan transfer panas. Penumpukan kerak pada pipa sangat tidak diinginkan mengurangi efisiensi proses aliran fluida dan mempersempit diameter pipa. Penumpukan kerak pada pipa saluran dapat menyebabkan penyumbatan, kerusakan, dan kebocoran (Suharso *et al.*, 2007).

Kerak biasanya mengendap dan berkembang pada peralatan industri, seperti sistem perpipaan. Kerak terbentuk karena partikel mineral mengendap dalam air, yang terjadi pada permukaan perpindahan panas. CaCO_3 , CaSO_4 dan MgCO_3 menyebabkan penyumbatan pipa yang mengakibatkan biaya operasional meningkat. Pengerakan adalah proses alami yang terjadi ketika zat yang tidak diinginkan dalam air terlibat dalam reaksi kimia. Bahan-bahan seperti alkali, kalsium, klorida, sulfat, nitrat, besi, seng, tembaga, fosfat, aluminium, dan lainnya (Raharjo, 2020). Komponen-komponen kerak yang umum dijumpai pada peralatan industri yaitu kalsium karbonat (CaCO_3), kalsium sulfat (CaSO_4), kalsium fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), seng fosfat ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$), silika (SiO_2) dan magnesium

silikat (MgSiO_2) (Lestari dkk., 2004). Kerak kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu komponen kerak yang sering umum ditemui dalam bidang industri terutama industri kimia. Kerak yang terbentuk dari kalsium karbonat ini sering kali berkembang secara luas pada peralatan dan komponen suku cadang, sehingga menyebabkan kerusakan signifikan serta masalah operasional (Muryanto *et al.*, 2014).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan kerak meliputi suhu, konsentrasi Ca^{2+} , dan inhibitor. Peningkatan suhu akan memperpendek periode induksi dengan meningkatkan frekuensi tumbukan ion mineral dalam larutan. Konsentrasi Ca^{2+} yang lebih tinggi akan meningkatkan jumlah ion mineral dalam larutan, sehingga frekuensi tumbukan antara ion mineral pembentuk kerak juga meningkat (Raharjo, 2020). Penumpukan kerak di pipa akan menghambat aliran, mengganggu perpindahan panas, dan mengurangi efisiensi jika tidak ditangani segera. Peningkatan tekanan pada pipa meningkatkan risiko pecah dan kerusakan. Kerak dapat memperkecil diameter pipa, diperlukan tenaga pemompaan yang lebih besar untuk mempertahankan kecepatan transfer yang sama. Salah satu dampak negatif dari pembentukan kerak adalah memperpendek umur sumur pipa pada industri panas bumi pembangkit tenaga listrik menjadi hanya 10 tahun, sehingga perusahaan perlu mengganti sumur pipa dengan biaya sekitar 6-7 juta dolar per sumur atau setara dengan 80-90 milyar rupiah. Hal ini menyebabkan biaya dan kerugian yang signifikan dalam operasional dan perawatan (Suharso *et al.*, 2010).

Terdapat beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mencegah terbentuknya kerak seperti pengendalian pH, pembebasan mineral air, dan penggunaan inhibitor kerak. Metode yang paling efektif digunakan yaitu dengan cara menambahkan zat penghambat (*scale inhibitor*) pada kerak (Suharso *et al.*, 2013). Inhibitor kerak adalah bahan kimia yang ditambahkan dalam konsentrasi rendah ke dalam air untuk mencegah atau menghentikan pembentukan kerak (Halimatuddahlia, 2003). Secara umum inhibitor kerak dibagi menjadi dua jenis yaitu inhibitor kerak anorganik dan inhibitor kerak organik. Inhibitor anorganik cenderung berbahaya, tidak ramah lingkungan, dan mahal. Inhibitor organik yang berbahan dasar alami

lebih ramah lingkungan, aman, mudah didapat, dan bersifat biodegradable (Irianty dan Komalasari, 2013). Karena inhibitor kerak anorganik memiliki sifat berbahaya dan kurang ramah lingkungan, banyak peneliti lebih memilih menggunakan inhibitor kerak organik seperti limbah buah-buahan (daging buah, kulit, dan bonggol), salah satunya adalah buah mengkudu.

Buah mengkudu atau juga dikenal dengan bahasa latin *morinda citrifolia* merupakan tanaman tropis yang telah digunakan sebagai obat tradisional selama puluhan tahun. Mengkudu berasal dari Asia Tenggara dan Australia, tanaman ini telah menyebar luas ke banyak daerah tropis seperti hawaii, kaeibia, polinesia dan indonesia. Kandungan nutrisi yang terkandung dalam buah mengkudu adalah protein, mineral, vitamin C dan asam lemak pendek. Buah mengkudu menghasilkan berbagai antioksidan diantaranya, *scopoletin*, *nitric oxide*, vitamin C dan vitamin A (Sukeksi dkk., 2018). Berdasarkan hasil uji fitokimia dalam buah mengkudu, ditemukan bahwa buah mengkudu mengandung senyawa metabolit sekunder yaitu flavonoid, alkaloid, saponin, tanin, kuinon, dan triterpenoid (Afif dan Amilah, 2017). Analisis kimia dan nutrisi telah mengungkapkan buah mengkudu mengandung tanin, flavonoid, dan senyawa fenolik dengan sifat bioaktif (Rizqi dkk., 2023).

Tanin merupakan senyawa polifenol yang mampu menghambat proses oksidasi. Tanin dapat mengikat logam berat seperti Ca^{2+} dikarenakan tanin memiliki gugus $-\text{OH}$ dari fenol sehingga larut dalam air atau alkohol (Irianty dan Sembiring, 2012). Ekstrak buah mengkudu dipadukan dengan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai zat adiktif yang diketahui memiliki kandungan senyawa fenol dan asam asetat yang memiliki sifat antimikroba. Penambahan asap cair dari cangkang kelapa sawit bertujuan untuk menghambat pertumbuhan mikroba, seperti yang diteliti oleh suharso *et al* (2017) penambahan senyawa asam seperti asam sitrat dan benzoat pada ekstrak gambir dapat mencegah pertumbuhan jamur, dan perlakuan ini juga dapat dilakukan pada ekstrak buah mengkudu. Selain berfungsi sebagai antimikroba, senyawa fenol dan asam asetat dalam asap cair dapat digunakan sebagai inhibitor ramah lingkungan untuk menghambat pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3).

Penelitian ini menggunakan metode *seeded experiment* untuk menilai efektivitas inhibitor dalam menghambat pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) dengan menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk mempercepat proses kristalisasi, sehingga mempercepat pertumbuhan inti kristal dan mempermudah proses karakterisasi (Pertiwi, 2018). Karakterisasi dilakukan untuk menganalisis laju pertumbuhan kerak dengan menggunakan berbagai instrumen seperti *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared* (FT-IR), *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Particle Size Analyzer* (PSA), dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh penambahan campuran dari ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit yang digunakan sebagai inhibitor kerak kalsium karbonat (CaCO_3) menggunakan metode *seeded experiment*.
2. Mengetahui efektivitas campuran dari ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai inhibitor kerak kalsium karbonat (CaCO_3) menggunakan metode *seeded experiment*.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh dari penambahan campuran ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sebagai inhibitor kerak kalsium karbonat (CaCO_3), sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut pada peralatan industri dan mengurangi kerugian serta dampak negatif yang ditimbulkan dari proses pengerakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengendapan Senyawa Anorganik

Endapan mineral anorganik dapat terbentuk dengan mudah di permukaan aliran air formasi, ketika konsentrasi larutan mengandung ion-ion terlarut yang tinggi, baik berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , dan CO_3^{2-}). Ketika kelarutan mencapai batasnya, senyawa tersebut tidak lagi larut dan akan terpisah dari pelarut dalam bentuk padatan yang kemudian mengalami proses pengendapan mineral. Kondisi ini dapat terjadi dalam proses desalinasi baik secara termal maupun menggunakan membran (Al Roomi *et al.*, 2015; Irawan, 2016). Dalam proses ini, selama reaksi berlangsung angka kelarutan akan mengalami perubahan seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan suhu. Perubahan akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air formasi, kemudian memicu terjadinya reaksi kimia antara kation dan anion yang menghasilkan endapan dalam bentuk kristal (Sari, 2011).

Industri yang menggunakan air garam, seperti industri minyak dan gas, proses desalinasi dan ketel, serta industri kimia, biasanya melakukan proses pengendapan senyawa anorganik. Endapan dari senyawa anorganik dapat menyebabkan masalah seperti kerak, pengendapan kerak pada dinding peralatan adalah masalah yang serius dan sering terjadi pada sebagian besar proses di industri dan sistem pendingin di berbagai reaktor peralatan industri. Ini disebabkan oleh fakta bahwa jumlah bahan anorganik yang membentuk kerak, seperti logam kalsium, yang melebihi kelarutannya dalam kondisi kesetimbangan. Pengendapan yang tidak diharapkan menyebabkan timbulnya kerak, dapat mengganggu transfer panas dan menghambat pengaliran selama proses aliran fluida (Suharso *et al.*, 2015). CaSO_4

(kalsium sulfat), CaCO_3 (kalsium karbonat), turunan kalsium bikarbonat, kalsium dan seng fosfat, sejumlah besar kalsium, dan ortofosfat adalah beberapa komponen kerak yang sering dijumpai. Biasanya disebabkan oleh air yang terlalu sering dirawat, konsentrasi tinggi silika, magnesium karbonat (magnesium pada konsentrasi tinggi dengan pH tinggi serta CO_2 yang tinggi), mangan dioksida (mangan yang teroksidasi tingkat tinggi), magnesium, silika, dan magnesium silika (pada konsentrasi yang tinggi dan dengan PH yang tinggi), besi fosfat (senyawa yang disebabkan oleh lapisan inhibitor fosfat), atau besi dioksida (senyawa yang disebabkan oleh kurangnya kontrol korosi atau dari besi yang teroksidasi alami) (Suharso dan Buhani, 2015).

2.2 Kerak

Kerak merupakan deposit keras senyawa anorganik yang terbentuk pada permukaan peralatan penukar panas karena partikel mineral yang mengendap dalam air. Pembentukan terjadi karena senyawa pembentuk kerak berada dalam air dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan, sehingga terbentuk kristal. Kristal tersebut akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida menyebabkan tekanan semakin tinggi (Usamah, 2019). Terbentuknya kerak setelah keadaan lewat jenuh tercapai, beberapa molekul akan bergabung untuk membentuk inti kristal. Apabila inti kristal lebih kecil dari ukuran partikel kritis inti kristal akan terlarut kembali, sementara jika ukuran inti kristal lebih besar dari ukuran partikel kritis, akan terjadi pertumbuhan kristal yang menghasilkan kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak). Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion yang lebih rendah dan kecenderungan untuk menggumpal, kristal yang terbentuk menghasilkan kerak (Suharso dan Buhani, 2015).

Partikel kristal cenderung membentuk endapan kerak, termasuk kalsium karbonat (CaCO_3), gipsum atau kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dan barium sulfat (BaSO_4). Endapan kerak lainnya adalah stronsium sulfat (SrSO_4) dan kalsium sulfat

(CaSO_4), yang biasanya ditemukan pada peralatan pemanas seperti boiler dan heater, serta kerak yang mengandung komponen besi seperti besi karbonat (FeCO_3), besi sulfida (FeS), dan besi oksida (Fe_2O_3). Pada pipa-pipa aliran fluida dapat terhambat akibat penyempitan ruang alir dan meningkatnya kekasaran pada permukaan bagian dalam pipa sehingga terbentuknya kerak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pembentukan kerak pada pipa (Marais *et al.*, 2016)

Peralatan industri yang menggunakan air garam, seperti industri minyak dan gas, proses desalinasi dan ketel serta industri kimia, biasanya mengalami proses pembentukan kerak anorganik. Ion-ion mineral pembentuk kerak saling bereaksi membentuk kristal dalam jumlah yang melebihi hasil kali kelarutannya pada keadaan kesetimbangan yang menyebabkan pembentukan kerak anorganik, hal ini disebabkan oleh banyaknya ion mineral dalam sumber air. Temperatur, konsentrasi Ca^{2+} , dan inhibitor adalah beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya kerak. Temperatur yang lebih tinggi akan memperpendek periode induksi karena meningkatkan frekuensi tumbukan ion mineral dalam larutan. Faktor lain adalah konsentrasi Ca^{2+} yang akan memperbanyak jumlah ion mineral dalam larutan, sehingga jumlah tumbukan antar ion mineral pembentuk kerak akan lebih besar (Raharjo, 2020).

Menurut Lestari (2008), faktor-faktor yang mempengaruhi timbulnya kerak antara lain yaitu sebagai berikut:

1. Kualitas Air

Konsentrasi komponen pembentuk kerak (seperti kesadahan kalsium dan fosfat), pH, dan konsentrasi bahan penghambat kerak dalam air mempengaruhi pembentuk kerak.

2. Temperatur Air

Kelarutan bahan menurun dengan suhu, komponen pembentuk kerak biasanya menempel atau mengendap sebagai kerak. Laju pengerakan mulai meningkat pada suhu air lebih dari 50°C, dan kadang-kadang kerak terbentuk pada suhu air lebih dari 60°C.

3. Laju Alir Air

Kecepatan pembentukan kerak akan bertambah seiring dengan penurunan kecepatan aliran sistem. Tanpa adanya bahan penghambat kerak, pada sistem dengan laju alir 0,6 m/detik, laju pembentukan kerak hanya satu perlima dari laju pembentukan kerak pada laju alir 0,2 m/detik.

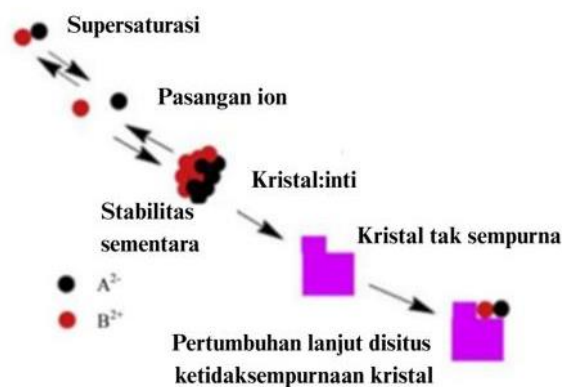
2.3 Mekanisme Pembentukan Kerak

Aliran yang bersifat garam mengalami penurunan tekanan yang tiba-tiba, sehingga aliran tersebut menjadi jenuh menyebabkan endapan garam menumpuk pada dinding peralatan industri. Konsentrasi komponen kerak, pH, dan konsentrasi bahan penghambat kerak dalam air mempengaruhi pembentukan kerak. Dalam keadaan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal yang akhirnya terlarut kembali menjadi ukuran lebih kecil daripada ukuran partikel kritis. Kristal yang terbentuk memiliki kecenderungan untuk menggumpal dan muatan ion yang lebih rendah menyebabkan pembentukan kerak (Suharso dan Buhani, 2015).

Menurut Raharjo (2020), mekanisme pembentukan kerak dapat dikategorikan menjadi enam langkah, seperti yang ditunjukkan di bawah ini.

1. Tahap pembentukan inti kristal (nukleasi)

Inti endapan adalah partikel halus yang dapat terbentuk secara spontan. Inti dapat terdiri dari beberapa molekul yang tumbuh secara bersama dan berdekatan, disebut sebagai partikel halus karena tidak berhubungan dengan endapan tetapi memiliki struktur yang mirip dengan kisi kristal. Pembentukan kristal terbagi menjadi dua yaitu nukleasi homogen dan nukleasi heterogen, kategori tersebut didasarkan pada teknik yang digunakan selama proses pembentukan. Inti kristal kecil adalah tahap pertama dalam nukleasi homogen, terbentuk ketika atom terkumpul untuk membentuk inti kristal kecil. Inti kristal tumbuh karena ion menempel pada permukaannya menambahkan lebih banyak ion, akibatnya gugus terbentuk karena pertumbuhan inti kristal yang lebih kecil didukung oleh kristal yang lebih besar saat ukuran kristal meningkat. Proses mineral awal pembentukan kerak yang meliputi nukleasi homogen dan pembentukan atom yang tidak stabil, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Nukleasi homogen (Crabtree *et al.*, 1999).

Nukleasi heterogen bekerja lebih baik pada permukaan daripada nukleasi homogen, pertumbuhan kristal dimulai pada permukaan batas larutan yang sudah ada sebelumnya di pipa pertukaran panas. Pembentukan inti kristal heterogen mengikuti pembentukan inti kristal homogen, jika terdapat zat

asing seperti zat pengotor proses nukleasi heterogen dapat dipercepat karena partikel asing mendorong pertumbuhan kristal. Nukleasi heterogen dapat terjadi pada permukaan yang tidak sempurna, seperti kekasaran pada perforasi pada liner produksi atau permukaan pipa yang dapat menyatu atau bahkan meninggalkan jejak pada pipa alir dan tubing, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.



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

2. Tahap Pertumbuhan Inti

Inti kristal akan menarik molekul lain selama tahap pertumbuhan, sehingga inti akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar dengan diameter 0,001 hingga 0,1 μ (ukuran koloid), kemudian tumbuh lagi sampai diameter 0,1 hingga 10 μ (kristal halus). Kristal akan mulai mengendap saat diameter kristal mencapai lebih dari 10 μ .

3. Tahap Pengendapan kristal ke permukaan

Pertumbuhan kristal kasar akan mengendap ke permukaan melalui proses difusi, sedimentasi, turbulensi, dan thermoporesis. Difusi memiliki peran dalam pergerakan transportasi gas dan partikel mineral, sedimentasi pada pergerakan dapat menyebabkan partikel padat dan kecepatan fluida rendah. Pusaran dalam aliran fluida dapat melewati sublayer laminar dan membawa material padat ke permukaan. Semburan turbulensi adalah metode penghapusan yang efektif. Meskipun demikian, mekanisme

thermoporesis terjadi pada partikel berukuran kurang dari 5 mikron dan menjadi dominan sekitar 0,1 mikron.

4. *Attachment* ke permukaan

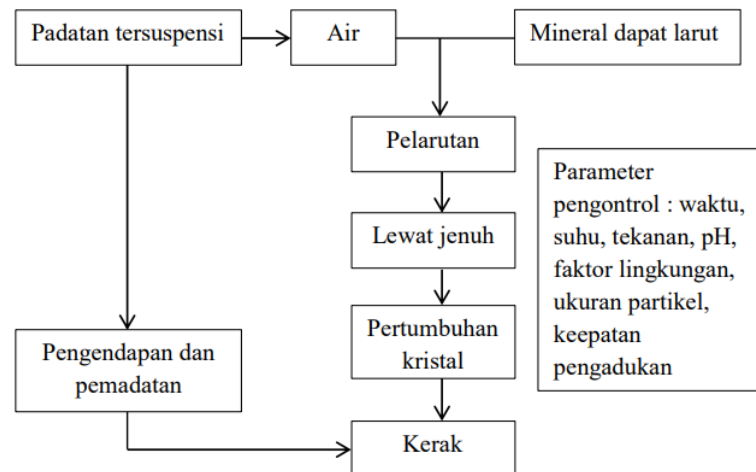
Kerak yang diangkut ke permukaan tidak sepenuhnya menempel. Metode yang diterapkan pada materi ketika mereka mendekati permukaan memiliki peran penting. Sifat-sifat partikel, kepadatan, elastisitas, kondisi permukaan, kekasaran permukaan, dan jenis material permukaan juga dapat mempengaruhi mekanisme pembersihan.

5. *Removal* dari permukaan

Kristal yang tidak melekat pada permukaan dapat terhapus. Proses penghilangan partikel kristal dari permukaan dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, seperti spalling yang terjadi karena gaya geser dan semburan turbulensi, resolusi deposit material, dan erosi. Kecepatan aliran dan kekasaran permukaan juga berperan penting dalam penghilangan kristal. Deposit material dapat terbentuk jika pH aliran cair berubah akibat penambahan aditif atau metode lain. Menghilangkan materi dari lapisan pengerakan dapat melalui pengikisan partikel pada kristal.

6. *Aging* deposit

Kekuatan mekanik deposit dapat berubah karena waktu sebagai akibat dari perubahan dalam struktur kristal atau komposisi kimia deposit, ketebalan deposit bertambah seiring waktu hingga mencapai nilai stabil. Proses aging atau penuaan dapat memperkuat atau memperlemah deposit kerak. Mekanisme yang kompleks untuk pembentukan kerak air dimulai dengan interaksi elektrostatik antara anion dan kation terlarut yang membentuk pasangan ion, konsentrasi pasangan ion meningkat pada kondisi supersaturasi yang lebih tinggi dan secara bertahap dapat berfungsi sebagai pengikat untuk partikel yang lebih besar. Gambar 4 memperlihatkan diagram mekanisme pembentukan kerak beserta parameter penting yang mempengaruhi setiap tahap proses tersebut.



Gambar 4. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak (Salimin dan Gunandjar, 2007).

2.4 Metode Pencegahan Pembentukan Kerak (CaCO_3)

Beberapa metode yang dapat diterapkan untuk mencegah pembentukan kerak kalsium karbonat pada peralatan industri adalah sebagai berikut:

1. Pengendalian pH

Untuk mencegah garam-garam kalsium, garam logam bivalen, dan garam fosfat dari pengerasan, maka dilakukan pengendalian pH dengan penginjeksian asam sulfat atau asam klorida. Pada pH yang lebih rendah kelarutan bahan pembentuk kerak biasanya meningkat. Pada pH 6,5 atau kurang, baja karbon, tembaga, dan panduan tembaga akan cepat korosi dan pH yang efektif untuk mencegah pengendapan kerak adalah pH 7,0-7,5. Oleh karena itu, untuk mengontrol pH dengan benar diperlukan suatu sistem penginjeksian asam otomatis. Pelunakan kapur dan soda abu dilakukan untuk mencegah kerak terbentuk pada air yang mengandung kesadahan tinggi sekitar 250 ppm CaCO_3 . Penggunaan air bebas mineral adalah metode yang tepat untuk mencegah kerak di dalam suatu sistem dengan pembebanan panas tinggi. Penggunaan air bebas mineral membutuhkan biaya yang cukup tinggi untuk digunakan dalam industri skala besar, dapat mengurangi efisiensi kerja (Suharso dan Buhani, 2015).

2. Penggunaan Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak biasanya adalah bahan kimia yang menghentikan atau mencegah terbentuknya kerak ketika ditambahkan pada konsentrasi air yang sangat rendah. Penggunaan bahan kimia ini sangat menarik karena dosis yang sangat rendah dapat mencegah kerak untuk waktu yang lama. Pembentukan senyawa pengebakan (kelat) antara inhibitor kerak dan komponen pembentukan kerak adalah prinsip kerja scale inhibitor. Senyawa pengebakan yang terbentuk larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar (Suharso dan Buhani, 2011). Penggunaan bahan kimia tambahan untuk mencegah pembentukan kerak didukung oleh penggunaan bola spons untuk membersihkan secara mekanis permukaan pipa.

Senyawa kimia yang berfungsi sebagai inhibitor kerak harus memenuhi beberapa syarat yaitu:

1. Inhibitor kerak harus menunjukkan kestabilan termal yang cukup dan efektif untuk mencegah terbentuknya air sadah dari pembentukan kerak.
2. Inhibitor kristal harus memiliki kemampuan untuk merusak struktur kristal dan padatan tersuspensi lain yang mungkin terbentuk.
3. Inhibitor kerak juga harus memiliki tingkat keamanan yang tinggi saat digunakan sehingga tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi lingkungan sekitar.

Mekanisme kerja inhibitor kerak dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Pada saat mulai terbentuk, inhibitor kerak dapat teradsorpsi pada permukaan kristal kerak. Inhibitor adalah kristal besar yang memiliki kemampuan untuk menutupi kristal yang lebih kecil dan mencegah mereka berkembang lebih jauh
2. Dalam banyak hal bahan kimia dapat dengan mudah mencegah partikel menempel pada permukaan padatan (Suharso dan Buhani, 2015).

3. Peningkatan Kondisi Operasi Alat Penukar Panas

Alat penukar panas berfungsi untuk mentransfer energi dari suatu fluida atau zat ke fluida atau zat lainnya. Berbagai jenis peralatan penukar kalor, seperti ketel uap, pemanas lanjut, pendingin oli pelumas, dan kondensor, sering ditemukan dalam industri. Salah satu metode efektif untuk menghambat kerak adalah dengan mengontrol kondisi operasi pada dinding luar alat penukar panas. Namun, metode ini hanya sebagai pelengkap, dan penggunaan bahan penghambat kerak tetap diperlukan untuk mencegah pembentukan kerak secara efektif (Anwar, 2011).

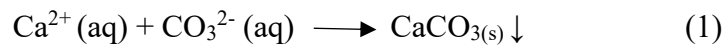
4. Pelunakan dan Pembebasan Mineral air

Pembentukan kerak dapat dihindari melalui pelunakan dan penghilangan mineral dari air, salah satu metode untuk melunakkan air keras adalah dengan pertukaran ion. Zeolit yang digunakan harus diaktivasi terlebih dahulu, baik secara fisika melalui pemanasan di furnace maupun dengan cara kimia menggunakan larutan NaOH, HCl, H₂SO₄ atau NH₃. Selain itu, untuk mencegah pembentukan kerak pada air dengan tingkat kesadahan tinggi, dapat digunakan kapur dan soda abu melalui proses pengolahan kapur dingin, penggunaan air bebas mineral juga merupakan metode efektif untuk mengurangi kerak dalam sistem yang mengalami beban panas tinggi, terutama ketika metode konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil (Sousan *and* Bertran, 2014).

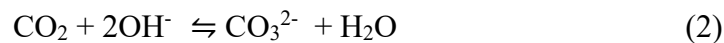
2.5 Kalsium Karbonat (CaCO₃)

Kalsium karbonat (CaCO₃) adalah mineral anorganik yang dikenal memiliki harga yang terjangkau secara komersial. Sifat fisik kalsium karbonat, seperti morfologi, fase, ukuran, perlu dimodifikasi sesuai dengan bidang aplikasinya. Bentuk morfologi dan fase kalsium karbonat (Ca(CO₃)) dipengaruhi oleh kondisi sintesis, seperti konsentrasi reaktan, suhu, waktu aging, dan zat aditif alami. Kalsit kalsium karbonat adalah fase yang paling stabil dan banyak digunakan dalam berbagai industri, termasuk cat, kertas, perekaman magnetik, tekstil, deterjen,

plastik, dan kosmetik (Noviyanti *et al.*, 2015). CaCO_3 dibuat dari reaksi CaCl_2 dengan Na_2CO_3 dalam air atau melewati CO_2 melalui suspensi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dalam air yang murni, kemudian menggunakan metode Richard dan Honischmidt dengan mengasamkan $\text{Ca}(\text{NO}_3)$ menggunakan sedikit HNO_3 . Larutan tersebut ditambahkan dengan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ cair murni yang sedikit berlebih digunakan untuk mengendapkan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$, untuk menghilangkan impuritas seperti garam Ba, Sr, dan Mg, dilakukan proses rekristalisasi nitrat secara berulang (Arsyad, 2001). Kalsium karbonat yang muncul sebagai endapan amorf berwarna putih dapat terbentuk melalui reaksi antara ion kalsium Ca^{2+} dari CaCl_2 dan ion karbonat (CO_3^{2-}) dari Na_2CO_3 , Sebagaimana ditunjukkan dalam Persamaan 1.



Menurut Zhang *et al.*, (2002) reaksi yang menghasilkan endapan CaCO_3 juga dapat dijelaskan melalui Persamaan 2 hingga 4.



Kelarutan CaCO_3 yang rendah dapat terbentuk jika larutan mencapai kondisi jenuh, di mana terjadi kesetimbangan kimia dengan lingkungannya pada tekanan dan temperatur yang ada. Kesetimbangan ini dapat terganggu dengan mengurangi gas CO_2 dalam aliran selama proses produksi, yang dapat menyebabkan pengendapan dan terbentuknya kerak. Pembentukan kerak ini menimbulkan berbagai kerugian, seperti mengganggu transfer panas, menyebabkan korosi pada pipa, dan lain sebagainya (Suharso dan Buhani, 2015).

2.6 Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*)

Buah mengkudu yang juga dikenal sebagai *Morinda citrifolia* L merupakan tanaman tropis yang telah digunakan sebagai obat tradisional selama puluhan tahun. Mengkudu berasal dari Asia Tenggara dan Australia, tanaman ini telah

menyebar luas ke banyak daerah tropis seperti hawaii, kaeibia, polinesia dan indonesia. Buah mengkudu memiliki bentuk pohon dengan tinggi antara 3-8 cm, batangnya berkayu, bulat, dan memiliki kulit kasar, serta bercabang monopodial. Gambar 5 menunjukkan buah mengkudu memiliki bentuk bulat panjang dengan ujung yang makin kecil, berbenjol-benjol, buah berwarna hijau, semakin tua semakin berwarna kuning atau putih, setelah matang menjadi lembek dan bau (Suprapti, 2005).

Sistematika (taksonomi) tumbuhan, tanaman buah mengkudu memiliki klasifikasi sebagai berikut.

Filum	: Angiospermae
Sub filum	: Dicotyledoneae
Dvisio	: Lignosae
Family	: Rubiaceae
Genus	: Morinda
Spesies	: <i>Morinda citrifolia</i> L

(Djauhariya, 2003)



Gambar 5. Buah Mengkudu (Wahyudi, 2022).

Buah mengkudu (*Morinda citrifolia* L) telah lama digunakan dalam berbagai keperluan seperti kulit akarnya digunakan untuk bahan pewarna batik, daunnya digunakan sebagai obat sakit perut, sesak napas, disentri, dan luka, sari buahnya untuk mengobati sakit kuning, dan campuran buah yang digiling dan ditambahkan cuka digunakan untuk mengobati limpa yang bengkak, penyakit hati, batuk, dan

untuk membersihkan luka (Adnyana dkk., 2004). Kandungan nutrisi yang terkandung dalam buah mengkudu adalah protein, mineral, vitamin C dan asam lemak pendek. Buah mengkudu menghasilkan berbagai antioksidan diantaranya, *scopoletin*, *nitric oxide*, vitamin C dan vitamin A (Sukeksi dkk., 2018).

Berdasarkan hasil uji fitokimia dalam buah mengkudu, ditemukan bahwa buah mengkudu mengandung senyawa metabolit sekunder yaitu flavonoid, alkaloid, saponin, tanin, kuinon, dan triterpenoid (Afif dan Amilah, 2017).

Analisis kimia dan nutrisi telah mengungkapkan buah mengkudu mengandung tanin, flavonoid, dan senyawa fenolik dengan sifat bioaktif (Rizqi dkk., 2023).

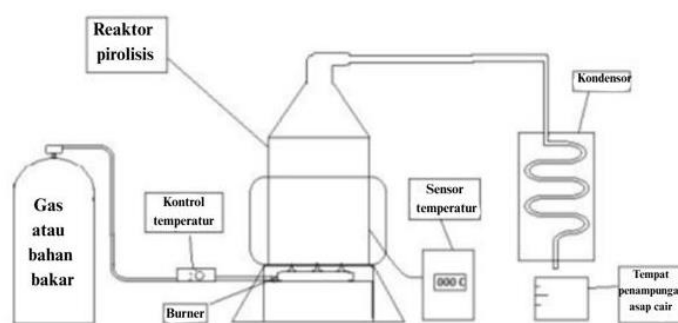
Senyawa antioksidan yang ada pada tumbuhan disebut senyawa fenolik. Senyawa fenolik adalah senyawa yang memiliki satu atau lebih cincin fenol, atau polifenol, yaitu gugus hidroksi yang terikat pada cincin aromatik sehingga mudah teroksidasi dengan menyumbang atom hidrogen pada radikal bebas. Senyawa fenolik alami termasuk flavonoid, tanin, tokoferol, kumarin, lignin, turunan asam sinamat, dan asam organik polifungsional (Dhurhania dan Agil, 2018). Tanin adalah senyawa polifenol yang dapat menghambat proses oksidasi. Tanin dapat mengikat logam berat seperti Ca^{2+} dikarenakan tanin memiliki gugus $-\text{OH}$ dari fenol sehingga larut dalam air dan alkohol (Irianty dan Sembiring, 2012).

Berdasarkan pemaparan tersebut diharapkan dengan adanya kandungan senyawa pada ekstrak buah mengkudu dapat menghambat pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3). Penggunaan ekstrak buah mengkudu sebagai inhibitor memiliki kekurangan yaitu mudah berjamur jika disimpan dalam waktu yang lama. Untuk mengatasi masalah tersebut, pada penelitian ini inhibitor ekstrak buah mengkudu dicampur dengan asap cair cangkang kelapa sawit.

2.7 Asap Cair Cangkang Kelapa sawit

Proses yang digunakan untuk menghasilkan asap cair adalah pirolisis. Limbah padat kelapa sawit dapat diolah secara cepat menjadi produk arang dan asap. Asap yang dihasilkan dapat dicairkan menjadi asap cair menggunakan kondensor, sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Asap cair didefinisikan

sebagai cairan kondensat yang telah disimpan untuk memisahkan tar dan bahan tertentu. Umumnya, asap cair berwarna kecoklatan dan memiliki aroma yang khas. Bahan baku untuk produk asap cair berasal dari kayu, cangkang kelapa, bonggol kelapa sawit, serta limbah hasil penggergajian kayu dan lainnya (Haji, 2013). Asap cair dapat berfungsi sebagai inhibitor, pemercepat tumbuhan tanaman, farmasi, *deodorant*, mikroba dan antijamur, pengusir hewan kecil dan tumbuhan (Nurhayati dan Adalina, 2009). Gambar 6 menunjukkan skema pembentukan asap cair.



Gambar 6. Skema pembuatan Asap Cair (Ginayati dkk., 2015).

Menurut Sarwendah dkk., (2019) secara fisika asap cair memiliki rentang pH antara 1,50-3,70 yang menunjukkan sifat asam yang bervariasi. Berat jenis lebih besar dari 1,005 yang berarti cukup padat dibandingkan air. Asap cair memiliki warna kuning kecoklatan yang menandakan adanya komponen organik hasil pirolisis. Transparansi menjadi faktor penting, dimana asap cair harus transparan yang menunjukkan kemurnian produk tanpa adanya partikel yang tersuspensi. Pada aspek kimia, keasaman asap cair berkisar antara 1-18%. Kandungan asap cair cangkang kelapa sawit dari hasil pirolisis adalah senyawa fenol, karbonil, dan asam (Ginayati dkk., 2015). Senyawa fenolik dalam asap cair mengandung antioksidan yang mampu menghambat laju korosi, fenol dan asam asetat adalah dua antioksidan utama yang terdapat dalam asap cair. Antioksidan ini, yang terdiri dari senyawa fenol dan asam asetat berfungsi sebagai donor hidrogen terhadap radikal bebas dan menghambat reaksi rantai. Berdasarkan kandungan senyawa yang ada dalam asap cair dari cangkang kelapa sawit, asap cair tersebut berpotensi sebagai inhibitor untuk mengurangi pembentukan kerak CaCO_3 (Sumpono, 2018).

2.8 Metode *Seeded Experiment*

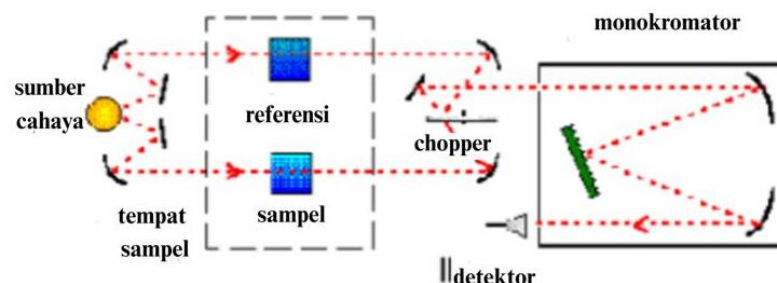
Metode yang digunakan untuk mengamati pertumbuhan kristal dapat dibedakan menjadi dua kategori utama, yaitu metode *seeded experiment* dan *unseeded experiment*. Dalam metode *seeded experiment*, proses pembentukan kristal dilakukan dengan menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit ini bertujuan untuk mempercepat proses kristalisasi. Semakin cepat proses ini berlangsung, semakin cepat laju pertumbuhan inti kristal yang berkontribusi pada pembentukan kristal yang lebih besar. Area permukaan bibit kristal yang lebih luas berfungsi sebagai tempat yang baik untuk pertumbuhan lebih lanjut, memungkinkan kristal tumbuh lebih besar dan cepat. Metode ini sangat relevan dalam studi laju pertumbuhan kerak kalsium karbonat, terutama dalam penambahan inhibitor dan bibit kristal (Setiosari, 2018).

2.9 Analisis dan Karakterisasi Kerak

Penelitian ini akan dilakukan beberapa analisis dan karakterisasi terhadap kerak kalsium karbonat (CaCO_3) yang telah terbentuk. Analisis yang dilakukan yaitu analisis menggunakan Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) digunakan untuk mengidentifikasi struktur suatu senyawa dan mengetahui adanya gugus fungsional utama yang terkandung dalam sampel. Analisis *Gas Chromatography - Mass Spectrometry* (GC-MS) digunakan untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang ada pada inhibitor, sifat fisik, dan kimia asap cair. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk menentukan struktur kristal dari kerak (CaCO_3). Analisis morfologi permukaan kristal CaCO_3 menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan analisis distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Analisis dan karakterisasi ini dilakukan untuk dapat mengetahui seberapa efektif campuran inhibitor ekstrak buah mengkudu dan asap cair cangkang kelapa sawit sebagai penghambat pembentukan kerak CaCO_3 .

2.9.1 Spektrofotometri *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) adalah salah satu alat analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material yang tidak diketahui. FTIR telah diterapkan dalam pengenalan kontaminan, komposisi, serta zat-zat murni dari berbagai jenis material (Khan *et al.*, 2018; Kowalczyk and Pitucha, 2019). *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah pengembangan dalam bidang analisis yang menghasilkan diagnosis senyawa dengan lebih mudah, cepat, dan objektif (Byrne *et al.*, 2020). FTIR terdiri dari berbagai komponen, yaitu sumber cahaya inframerah, interferometer, kompartemen sampel, detektor, amplifier, dan komputer. Sumber cahaya memancarkan radiasi yang mengenai sampel, lalu melewati interferometer sebelum sampai ke detektor. Sinyal yang diterima kemudian diperkuat dan diubah menjadi sinyal digital amplifier dan konverter analog digital. Interferogram yang dihasilkan selanjutnya akan diolah menjadi spektrum menggunakan algoritma transformasi fourier cepat (Khan *et al.*, 2018). Pada Gambar 7 menunjukkan skema kerja *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

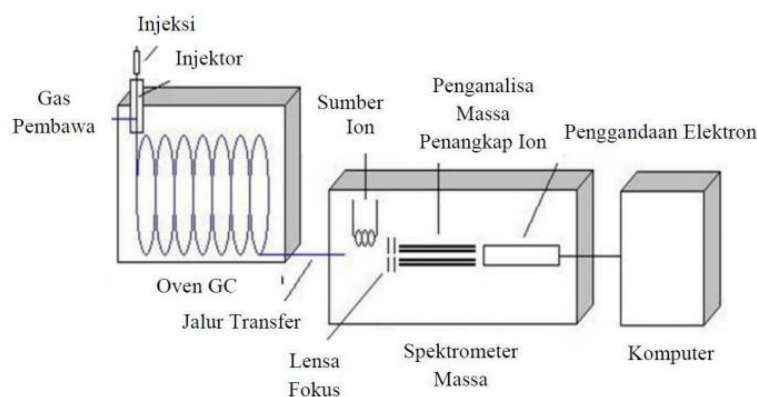


Gambar 7. Skema kerja Spektrofotometer IR (Supratman, 2010)

Molekul yang dianalisis dengan FTIR dapat menyerap energi inframerah pada tingkat energi rotasi dan vibrasi, khususnya pada ikatan kovalen yang mengalami perubahan momen dipol. Karakterisasi menggunakan FTIR untuk memahami jenis vibrasi antar atom, sehingga gugus fungsi dalam suatu senyawa dapat diidentifikasi (Mujiyanti dan Kunarti, 2010). FTIR banyak digunakan untuk mempelajari molekul organik, terutama peregangan vibrasi mengubah panjang ikatan, serta getaran tekuk mempengaruhi sudut ikatan (Khan *et al.*, 2018).

2.9.2 Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS)

Kromatografi gas adalah alat yang digunakan untuk memisahkan berbagai komponen dalam campuran sampel. Metode ini dapat diterapkan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif campuran, pemurnian senyawa, serta penentuan konstanta termokimia seperti panas larutan dan penguapan, koefisien aktivitas, dan tekanan uap (Al Rubaye *et al.*, 2017). Salah satu keuntungan dari kromatografi gas adalah untuk mengidentifikasi berbagai jenis senyawa organik yang mudah menguap. Selain itu, kromatografi gas juga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif dan kualitatif senyawa dalam campuran. Analisis kuantitatif biasanya dilakukan metode standar internal. Metode ini sangat berguna untuk sampel yang tidak cocok atau tidak dapat diinjeksi langsung dalam kromatografi gas karena dapat mengurangi ketidakpastian yang disebabkan oleh proses injeksi dan laju aliran (Rizalina *et al.*, 2018). Skema dari alat instrumentasi GC-MS ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema alat instrumentasi GC-MS (Ari *et al.*, 2016).

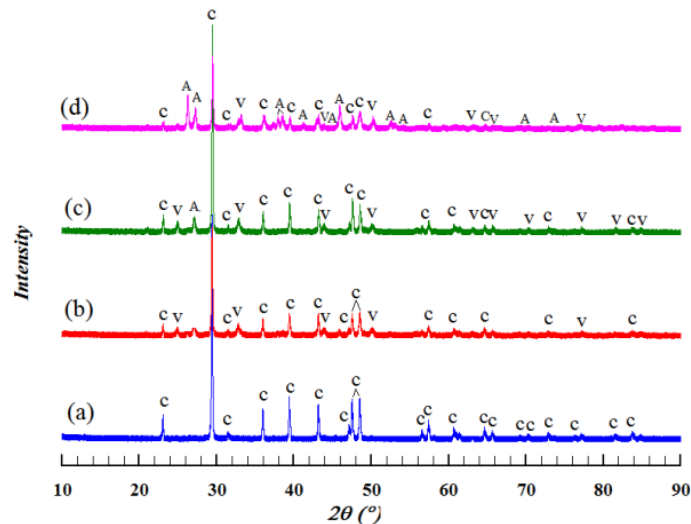
Ada beberapa prinsip kerja dalam alat *Gas Chromatography- Mass Spectrometry* (GC-MS) yaitu sampel *preparation*, injeksi, GC *separation*, *scanning*, dan MS *detector*. Proses injeksi berlangsung otomatis selama 3 menit dengan suhu yang meningkat dari 50° C hingga 300° C dan akan kembali normal setelah injeksi selesai. Pada tahap GC *separation* campuran dibawa oleh gas pembawa helium dengan laju alir tertentu melewati kolom GC yang telah dipanaskan, pada tahap

MS *detector* senyawa dan molekul struktur diidentifikasi menggunakan referensi komputer. Pada tahap akhir pemindaian atau *scanning* hasil dari injeksi disimpan dalam sistem data instrumen untuk analisis lebih lanjut (Dewi *et al.*, 2020).

2.9.3 *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah teknik karakterisasi yang umum digunakan untuk bahan berskala nano. Analisis sampel menggunakan XRD memberikan informasi penting yang melengkapi metode analisis mikroskopik dan spektroskopi lainnya, termasuk identifikasi fase, kemurnian sampel, ukuran kristalit, dan morfologi. Prinsip dasar XRD adalah ketika sinar-X mengenai bahan padat, sinar-X tersebut dihamburkan oleh elektron yang mengorbit inti atom. Gelombang yang tersebar akan dipancarkan ke berbagai arah dan saling berinterferensi (Fultz *and* Howe, 2013). Analisis difraksi sinar-X bergantung pada bagaimana atom atau ion tersusun secara sistematis di dalam bidang kristal. Susunan ini dapat menghasilkan kisi kristal dengan jarak antar bidang (d) yang spesifik. Susunan atom setiap spesies mineral berbeda, untuk menghasilkan bidang kristal yang dapat memantulkan sinar-X dalam pola difraksi tertentu. Pola ini kemudian digunakan untuk menentukan jenis senyawa tertentu (Rini, 2016).

Monokromator melewati sinar-X dari sumber sinar masuk untuk menghasilkan berkas sinar pada daerah panjang gelombang yang diinginkan. Selanjutnya kristal cuplikan mengenai sinar dengan panjang gelombang yang diinginkan, kristal cuplikan mengenai sinar dengan panjang gelombang tertentu yang kemudian difraksi oleh kristal pada sudut tertentu (θ). Sinar yang didifraksi ini kemudian ditangkap oleh detektor sinar-X yang mengenai permukaan kristal atau hablur tersebut akan dibelokan dengan sudut 2θ , sehingga detektor harus disusun pada sudut dua kali lebih besar dari sudut sinar itu datang. Alat ini biasanya dilengkapi dengan rekorder yang akan menggambarkan pola difraksi dalam bentuk kurva (Permanasari *et al.*, 2016). Gambar 9 memperlihatkan hasil dari analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) kalsium karbonat (CaCO_3).

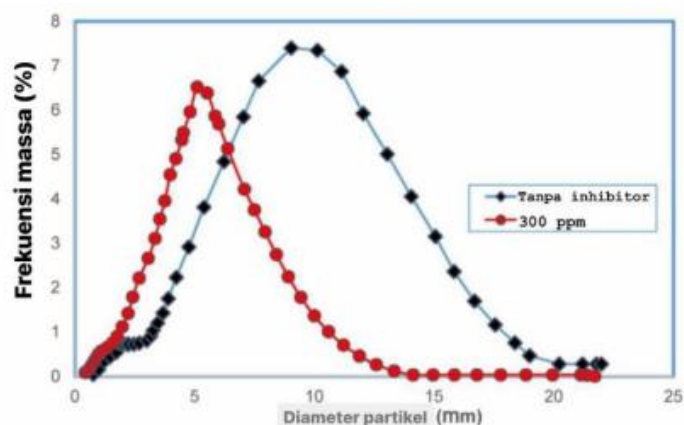


Gambar 9. Pola XRD kerak CaCO_3 (a) tanpa aditif asam tartrat, (b) aditif 4 ppm, (c) aditif 6 ppm dan (d) aditif 10 ppm (Kardiman *et al.*, 2017).

2.9.4 Particle Size Analyzer (PSA)

Alat yang digunakan untuk mengukur distribusi ukuran partikel berukuran nanometer adalah *Particle Size Analyzer* (PSA). *Particle Size Analyzer* (PSA) dapat diterapkan pada suspensi, emulsi, padat, dan aerosol. Ada banyak cara yang dapat digunakan untuk menganalisis sampel. PSA hanya spesifik untuk mengukur ukuran partikel lingkaran, tetapi juga dapat digunakan untuk mengukur volume setiap partikel dalam sampel. Dalam metode pengukuran partikel, difraksi laser adalah instrumen yang umum digunakan. Spesifik, ukuran partikel antara 0,5 μm dan 100 μm . Prinsip pengukuran PSA didasarkan pada hambatan laser oleh partikel sampel, cahaya yang berasal dari laser dipancarkan melalui jarum kecil. Partikel dalam sampel menghamburkan kembali cahayanya melalui jarum kecil dan masuk ke detektor, sinyal analog diubah menjadi sinyal digital yang menghasilkan deret hitung (Nuraeni dkk., 2013). melakukan tugasnya *Particle Size Analyzer* (PSA) menggunakan metode *Dynamic Light Scattering* memanfaatkan cahaya inframerah. Interaksi sampel dengan cahaya inframerah menyebabkan gerakan acak partikel karena tumbukan molekul dengan cairan. Semakin kecil ukuran molekul maka semakin cepat gerakan (Horiba, 2014).

PSA juga digunakan di industri, mulai dari makanan dan minuman hingga obat-obatan, cat, pelapis, formulasi kimia khusus, dan material komposit. Laboratorium menggunakan PSA untuk mengukur ukuran partikel pada berbagai jenis sampel, seperti suspensi, aerosol, emulsi, dan padat (Fitriana *et al.*, 2022). Pengukuran menggunakan PSA memiliki kelebihan lebih akurat jika dibandingkan dengan pengukuran partikel seperti XRD ataupun SEM. Hal ini dikarenakan partikel didispersikan ke dalam medium sehingga ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari single particle, Hasil pengukuran dalam bentuk distribusi, sehingga dapat menggambarkan keseluruhan kondisi sampel, serta memiliki rentang pengukuran 0,6 nm-7 μm (Nanotech, 2012). Hasil analisis ukuran partikel (PSA) dari kerak kalsium karbonat ditunjukkan pada Gambar 10.

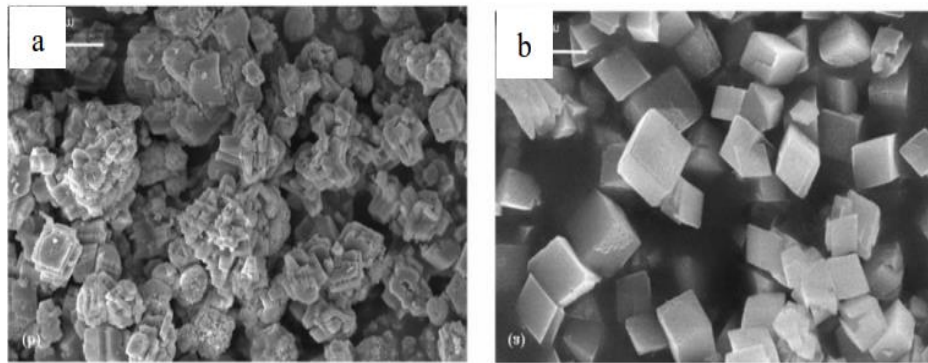


Gambar 10. Distribusi ukuran partikel kristal CaCO_3 tanpa adanya inhibitor dan dengan adanya 300 ppm inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,1 M (Suharso *et al.*, 2017).

2.9.5 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Salah satu jenis mikroskopi elektron adalah *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang menggambarkan spesimen dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya, resolusi elektron hanya 0,1-0,2 nm sedangkan cahaya hanya mampu mencapai 200 nm. Sinyal yang dihasilkan spesimen akibat interaksi

elektron dengan atom-atom mengandung informasi tentang topografi permukaan, komposisi, dan atribut lainnya seperti konduktivitas listrik. Prinsip kerja SEM adalah sebuah pistol elektron menghasilkan sinar elektron menghasilkan sinar elektron dan anoda mempercepatnya. Koil pemindai mengarahkan sinar elektron yang terfokus ke sampel, lensa magnetik memfokuskan elektron ke sampel dan setiap kali elektron masuk ke sampel mengeluarkan elektron baru. Elektron ini diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (Wijayanto dan Bayuseno, 2014). Gambar 11 memperlihatkan hasil analisis kerak kalsium karbonat menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



Gambar 11. Morfologi kristal CaCO_3 (a) dengan adanya inhibitor 300 ppm pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,1 M (b) tanpa adanya inhibitor (Suharso *et al.*, 2017).

Penggunaan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memungkinkan pemindaian area yang luas dan pengumpulan data dalam jumlah yang sangat besar. Pengumpulan karakteristik sampel melalui perhitungan objek dan pengumpulan statistik dari karakteristik tersebut (Kharin, 2020). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memanfaatkan interaksi antara elektron sumber dan elektron penyusun sampel menghasilkan emisi elektron dan foton. Interaksi ini menghasilkan topografi yang memiliki segala tonjolan dan bentuk permukaan yang dapat direkam oleh detektor atau layar dan divisualisasikan untuk menghasilkan morfologi sampel (Sujatno, 2015).

III. METODE PERCOBAAN

3.1 Waktu dan Tempat

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

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu spatula, waterbath (Thermoscientific AC 200/S21), gelas-gelas plastik, pengaduk magnetik (Stuart CB 162), oven (merek Innotech), gelas kimia, labu ukur, gelas ukur, corong, pipet tetes, neraca analitik (Airshwoth AA-160), pH meter (Methrom 827), spektrofotometer IR (merek Cary 620 Agilent) diproduksi di Amerika Serikat,

Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) merek Shimadzu QP 2010 SEDiproduksi di Jepang, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merek JEOL JSM 6510 LA diproduksi di Jepang, *X-Ray Diffraction* (XRD) merek PANalitycal MPD PW3040/60 diproduksi di Belanda, dan *Particle Size Analyzer* (PSA) merek Cilas 1090D diproduksi di Perancis.

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

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Inhibitor dari Ekstrak Buah Mengkudu dengan Variasi Konsentrasi Berbeda

Ekstraksi buah mengkudu dibuat dengan cara membersihkan dan memotong buah mengkudu menjadi bagian kecil kemudian buah mengkudu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3-4 jam hingga konstan. Setelah kering buah mengkudu digiling menjadi serbuk. Selanjutnya 100 g serbuk buah mengkudu ditimbang dan ditambahkan dengan 1000 mL akuades dalam gelas kimia, kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu 90°C selama 2-3 jam, selanjutnya dibiarkan selama semalam dan larutan disaring dengan kertas saring.

Filtrat yang dihasilkan kemudian diuapkan dengan menggunakan oven hingga terbentuk larutan pekat. Larutan pekat tersebut kemudian dilarutkan sebanyak 1 g dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan dengan akuades untuk membuat larutan induk inhibitor dengan konsentrasi 1000 ppm. Selanjutnya, larutan induk ini diencerkan untuk menghasilkan larutan inhibitor dengan variasi konsentrasi 100, 200, 300, dan 400 ppm. Pembuatan konsentrasi 100 ppm dilakukan dengan cara mengencerkan 100 mL ekstrak buah mengkudu dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas dan dihomogenkan. Prosedur yang sama

diikuti untuk membuat larutan dengan konsentrasi 200, 300, dan 400 ppm. Keasaman larutan diukur menggunakan pH meter. Selain itu, untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam ekstrak buah mengkudu, dilakukan analisis menggunakan spektrofotometri IR. Untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak tersebut, dilakukan analisis menggunakan spektrofotometri GC-MS.

3.3.2 Pembuatan Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit

Asap cair yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari cangkang kelapa sawit melalui proses pirolisis. Pembuatan asap cair cangkang kelapa sawit dilaksanakan di Universitas Lampung. Cangkang kelapa sawit dibersihkan dan dijemur dibawah sinar matahari langsung. Cangkang yang sudah dijemur dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, kemudian cangkang kelapa sawit dipirolisis selama 4-5 jam pada suhu 250-330 °C sampai asap cair berhenti menetes. Asap yang keluar dari reaktor dialirkan melalui pipa ke rangkaian kondensor, asap akan mengalami kondensasi sehingga berubah menjadi asap cair. Asap cair yang keluar ditampung dalam wadah penampungan dan disaring untuk memisahkan tar dan asap cair.

Pembuatan inhibitor dari asap cair cangkang kelapa sawit dilakukan dengan membuat larutan baku 1 mL asap cair cangkang kelapa sawit dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas dan dihomogenkan sehingga memperoleh larutan induk inhibitor asap cair 1000 ppm. Pembuatan inhibitor dari asap cair cangkang kelapa sawit konsentrasi 250 ppm dengan cara mengencerkan 250 mL larutan induk inhibitor dari asap cair cangkang kelapa sawit dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, dihomogenkan dan keasaman larutan diukur menggunakan pH meter. Kemudian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam asap cair cangkang kelapa sawit dilakukan analisis menggunakan FTIR, untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia

yang terdapat di dalam asap cair cangkang kelapa sawit dan sifat fisik dan kimia asap cair cangkang kelapa sawit dilakukan pula analisis menggunakan GC-MS.

3.3.3 Pembuatan Inhibitor dari Campuran Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit (A) dan Ekstrak Buah Mengkudu (M).

Larutan inhibitor dibuat dengan cara mencampurkan 200 mL asap cair cangkang kelapa sawit 250 ppm dan 200 mL ekstrak buah mengkudu pada berbagai variasi konsentrasi yang dapat dilihat pada Tabel 1. Kemudian diaduk campuran tersebut menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dan larutan disaring menggunakan kertas saring agar kotoran yang terdapat pada campuran hilang dan disimpan dalam botol. Perpaduan campuran ini dibuat dengan perbandingan konsentrasi ekstrak buah mengkudu yang bervariasi sedangkan untuk konsentrasi asap cair cangkang kelapa sawit dibuat tetap yang ditunjukkan pada Tabel 1. Setiap perbandingan campuran ini diuji efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan kristal CaCO_3 dan kemudian diukur nilai pH-nya.

Tabel 1. Perbandingan konsentrasi campuran asap cair cangkang kelapa sawit (A) dan ekstrak buah mengkudu (M)

Perbandingan Inhibitor A : M	Konsentrasi Asap Cair Cangkang Kelapa Sawit (ppm)	Konsentrasi Ekstrak Buah Mengkudu (ppm)
5 : 2	250	100
5 : 4	250	200
5 : 6	250	300
5 : 8	250	400

3.3.4 Pembuatan Bibit Kristal

Pada penelitian ini pembuatan bibit kristal dilakukan dengan mencampurkan 55,5 g serbuk/padatan CaCl_2 dan 53 g serbuk/padatan Na_2CO_3 dalam gelas kimia 1000 mL, lalu ditambahkan 500 mL akuades ke dalam masing-masing gelas. Kedua

larutan tersebut kemudian diaduk secara bersamaan dengan menggunakan magnetic stirrer suhu 90 °C selama 15 menit. Lalu larutan CaCl_2 1M dicampur dengan larutan Na_2CO_3 1M dalam satu gelas kimia 1000 mL, kemudian diaduk kembali pada suhu yang sama selama 15 menit. Endapan yang terbentuk dipisahkan dengan kertas saring, lalu dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa larutan dan kotoran. Endapan kemudian dikeringkan di oven pada suhu 105 °C. Hasil kristal yang diperoleh dari proses ini akan digunakan sebagai bibit kristal untuk pengamatan pertumbuhannya (Suharso *et al.*, 2009).

3.3.5 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaCO_3

Pengujian asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu (AM) sebagai inhibitor dalam menghambat kristal CaCO_3 dengan metode *seeded* dilakukan dengan beberapa tahapan percobaan yaitu sebagai berikut.

1. Penentuan laju pertumbuhan CaCO_3 tanpa penambahan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan yang berbeda dengan metode *seeded experiment*

Larutan pertumbuhan CaCO_3 dibuat dengan cara melarutkan CaCl_2 anhidrat 0,05 M dan Na_2CO_3 0,05 M masing-masing dalam 200 mL akuades. Selanjutnya, masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet (*spinbar*) pada suhu 90 °C selama sekitar 15 menit hingga larutan menjadi homogen. Kemudian, larutan CaCl_2 0,05 M dan larutan Na_2CO_3 0,05 M dicampurkan dan diaduk lagi dengan pengaduk magnet pada suhu yang sama selama 15 menit untuk membentuk kerak CaCO_3 , serta diukur nilai pH-nya menggunakan pH universal. Setelah kedua larutan dicampurkan, larutan tersebut dibagi ke dalam 6 gelas plastik berbeda, masing-masing sebanyak 50 mL, dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Campuran ini kemudian diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 65 menit untuk mencapai kesetimbangan.

Setelah itu, larutan disaring menggunakan kertas saring dan endapan dikeringkan di oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Endapan yang terbentuk kemudian ditimbang untuk menentukan berat kristal yang dihasilkan. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 sebesar 0,0750; 0,1000; dan 0,1250 M untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak CaCO_3 tanpa penambahan inhibitor dengan konsentrasi 0,0375; 0,0500; dan 0,0625 M. Endapan yang diperoleh ditimbang, kemudian dianalisis untuk menentukan konsentrasi inhibitor yang paling efektif. Selanjutnya, dilakukan analisis morfologi menggunakan instrumen SEM, analisis struktur kristal dengan XRD, dan distribusi ukuran partikel dalam endapan menggunakan PSA.

2. Penentuan laju pertumbuhan CaCO_3 dengan penambahan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan yang berbeda dengan metode *seeded experiment*.

Larutan pertumbuhan CaCO_3 dibuat dengan melarutkan 0,05 M CaCl_2 anhidrat dan 0,05 M Na_2CO_3 yang masing-masing dilarutkan dalam 200 mL inhibitor campuran asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu (AM). Kemudian masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet (*spinbar*) pada suhu 90 °C selama 15 menit hingga larutan menjadi homogen. Larutan CaCl_2 anhidrat 0,05 M dan larutan Na_2CO_3 0,05 M dicampurkan dan diaduk lagi menggunakan pengaduk magnet (*spinbar*) pada suhu 90 °C selama 15 menit agar dapat terbentuk kerak CaCO_3 dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan CaCO_3 yang terbentuk dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL larutan pertumbuhan dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Kemudian diletakkan di dalam *waterbath* pada suhu 90 °C. Kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Selanjutnya, endapan tersebut ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 sebesar 0,0750; 0,1000; dan 0,1250 M.

Endapan yang diperoleh ditimbang, kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui konsentrasi inhibitor yang paling efektif sehingga dapat dilakukan analisis morfologinya menggunakan instrumen SEM, analisis struktur kristal menggunakan XRD, dan distribusi ukuran partikel dalam endapannya menggunakan PSA.

3.4 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengukur jumlah kristal kalsium karbonat (CaCO_3) yang terbentuk, baik dalam kondisi tanpa inhibitor maupun dengan penggunaan inhibitor. Penelitian ini mencakup variasi konsentrasi larutan pertumbuhan CaCO_3 dan variasi konsentrasi inhibitor. Data yang diperoleh akan diolah dan diplot menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2019 untuk menghasilkan grafik yang menunjukkan jumlah massa kristal CaCO_3 yang terbentuk terhadap waktu laju pertumbuhan kristal CaCO_3 . Nilai slope atau kemiringan dari grafik tersebut menunjukkan tingkat pertumbuhan kerak CaCO_3 . Kemudian morfologi kerak CaCO_3 yang terbentuk sebelum dan setelah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Perubahan ukuran partikel CaCO_3 pada setiap endapan dari setiap percobaan dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Struktur kristal CaCO_3 sebelum dan setelah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan *X-Ray Diffactogram* (XRD). Data yang telah diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui efektivitas dari inhibitor campuran ekstrak buah mengkudu dalam menghambat laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan menggunakan Persamaan 5 yang telah dijelaskan dalam penelitian sebelumnya (Suharso *et al.*, 2019).

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

Keterangan:

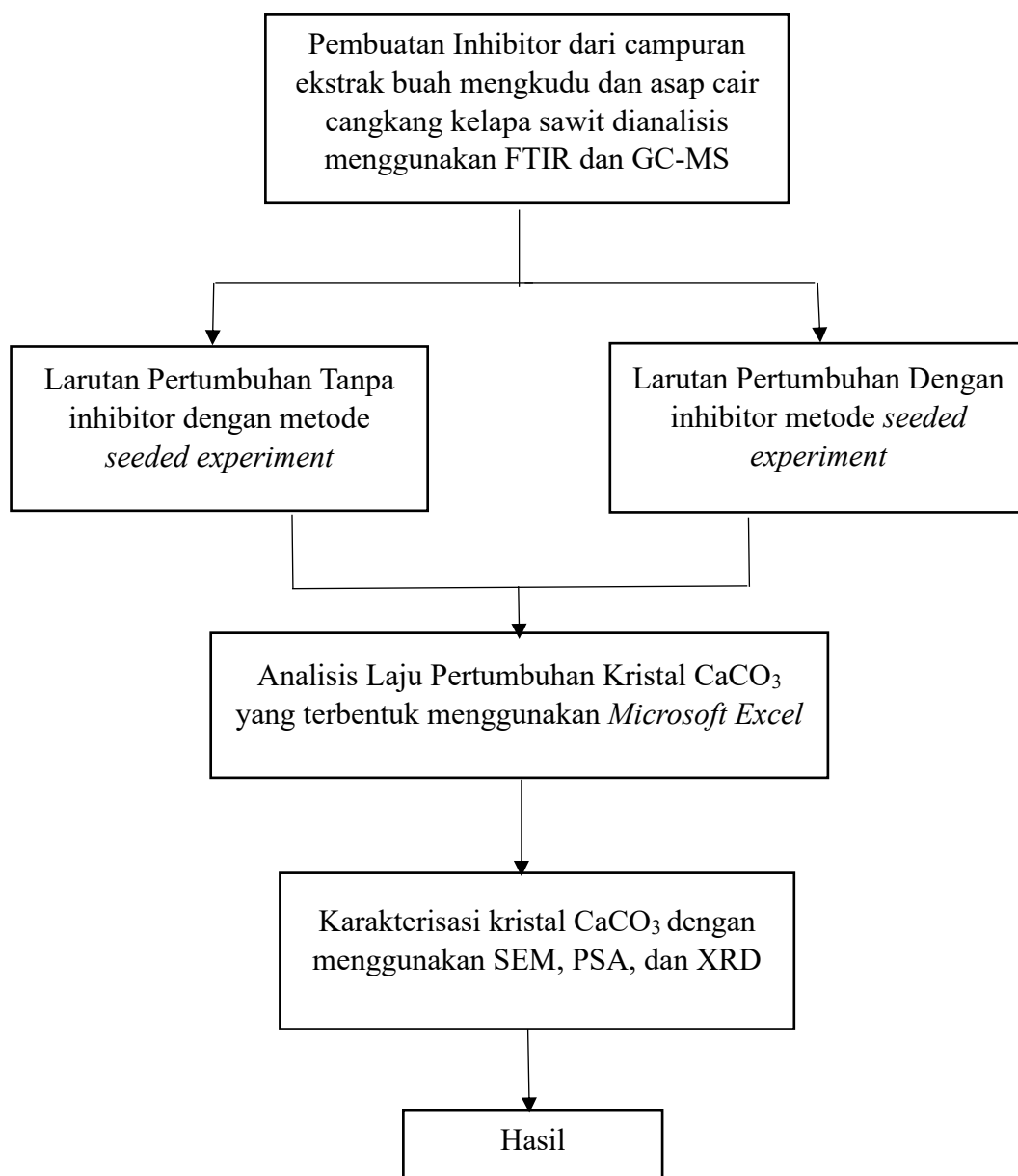
C_a = berat endapan dengan penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

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

C_0 = berat endapan awal (g/L).

3.5 Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan, rangkaian alur pada penelitian ini dapat diilustrasikan melalui diagram penelitian yang terlihat dalam Gambar 12.



Gambar 12. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Campuran inhibitor asap cair cangkang kelapa sawit dan ekstrak buah mengkudu dapat digunakan sebagai inhibitor ramah lingkungan yang dapat menghambat pertumbuhan kerak CaCO_3 ditandai dengan menurunnya laju pertumbuhan, morfologi, struktur, dan berkurangnya ukuran partikel kerak kalsium karbonat (CaCO_3) setelah penambahan inhibitor.
2. Nilai persen efektivitas tertinggi perbandingan campuran inhibitor tertinggi yaitu pada perbandingan asap cair dan ekstrak mengkudu (AM) 5:8 pada larutan pertumbuhan 0,0250 M dengan konsentrasi 250 dan 400 ppm dengan persentase 160,3%.
3. Analisis morfologi permukaan kerak CaCO_3 menggunakan SEM menunjukkan bahwa terjadi perubahan morfologi kerak CaCO_3 , sebelum penambahan inhibitor kerak lebih didominasi kristal fasa kalsit dan sedikit arogranit, setelah penambahan inhibitor kerak didominasi oleh kristal fasa arogranit dan muncul fasa baru yaitu vaterit.
4. Analisis struktur kristal CaCO_3 menggunakan XRD menunjukkan bahwa fasa kalsit dan arogranit lebih mendominasi pada difraktogram tanpa penambahan inhibitor, sedangkan setelah penambahan inhibitor terdapat fasa baru yaitu vaterit dan berkurangnya fasa kalsit serta arogranit pada puncak difraktogram

5. Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3 mengalami penurunan yang signifikan setelah penambahan inhibitor AM (5:8) dilihat dari nilai rata-rata turun sebesar $17,8 \mu\text{m}$ dan nilai tengah turun sebesar $9,61 \mu\text{m}$.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak kalsium karbonat CaCO_3 dengan melakukan penambahan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi campuran inhibitor yang berbeda dengan menggunakan metode *unseeded experiment*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, I. K., Yulinah, E., Andreanus, A., dan Soemardji, K. 2004. Uji Aktivitas Antidiabetes Ekstrak Etanol Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.). *Acta Pharmaceutica Indonesia*, 29(2): 43-48.
- Afif, F.E. dan Amilah, S. 2017. Efektivitas Ekstrak Daun Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) dan Daun Sirih Merah (*Piper crocatum* Ruiz dan Pav) Terhadap Zona Hambat Pertumbuhan *Staphylococcus Aureus*. *Jurnal of Science*. 10(1):12-16.
- Al Roomi, Y.M., Kaneez, F.H., and Mohammed, A. 2015. Performance Of Inhibitors On CaCO_3 Scale Deposition in Stainless Steel and Copper Pipe Surface. *Desalination*. 375: 138-148.
- 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.
- Anwar, K. 2011. *Efektivitas Alat Penukar Kalor pada Sistem Pendingin Generator PLTA*. MEKTEK. 1(3):185-192.
- Ari, K., Darmapatni, G., Basori, A., Ni, D., dan Suaniti, M. 2016. Pengembangan Metode GC-MS untuk Penetapan Kadar Acetaminophen pada Spesimen Rambut Manusia. *Jurnal Biosains Pascasarjana*. 18(3).
- Arsyad, M. N. 2001. *Kamus Kimia Arti dan Penjelasan Ilmiah*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Byrne, H. J., Bonnier, F., McIntyre, J., and Parachalil, D. R. 2020. *Quantitative Analysis Of Human Blood Serum Using Vibrational Spectroscopy*. *Clinical Spectroscopy*, 2, 100004.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G., S. 2015. Removal Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scales and Deposits*. Pp 701-720.

- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A., and King, G. 1999. *Fighting Scale-Removal and Prevention*. Oilfield. 11: 30-45.
- Dewi, S. T. R., Djuniasti, K., dan Damaris. 2020. *Identifikasi Kandungan Daun Nggorang (Salvia occindentalis Sw) Menggunakan Spektrofotometer GCMS*. Media Farmasi. 16 (2).
- Dhurhania, C.E. dan Agil, N. 2018. Uji Kandungan Fenolik Total dan Pengaruhnya terhadap Aktivitas Antioksidan dari Berbagai Bentuk Sediaan Sarang Semut (*Myrmecodia pendens*). *Jurnal Farmasi dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*. 5(2).
- Djauhariya E. 2003. Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) Tanaman Obat Potensial. *Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. J. Pengembangan Teknologi TRO*. 15 (1): 1-16.
- Fitriana, M., Riyanta, A. B., Amananti, W., Hariyanto, Y. A., Kusnadi, Supriati, H. S., Khoiriyah, M., Kusumaningtyas, F. A., Mahardika, M. P., Hutahaen, T. A., Suen, N. M. D. S., Nurcahyo, H., Maimunah, S., dan Suradnyana, I. G. M. 2022. *Fisika Farmasi Sains dan Terapan*. Kaizen Media Publishing. Bandung.
- Fultz, B. dan Howe, J. 2013. *Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials*. Springer.
- Ginayati, L., Faisal, M., dan Suhendrayatna, S. 2015. Pemanfaatan Asap Cair dari Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit sebagai Pengawet Alami Tahu. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 4(3):7-11.
- Haji, A. G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 9(3), 110-117.
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*. FMIPA-USU. Medan.
- Horiba. 2014. *A Guidebook to Particle Size Analysis*. Horiba Instruments, Inc. Kyoto.
- Irawan, A. dan Isjudarto, Ag. 2016. *Evaluasi Penanggulangan Problem Scale Pada Flowline Sumur TLJ-XXX Di PT. Pertamina Ep Asset II Field Prabumulih Sumatera Selatan*. Prosiding Seminar Nasional Re TII ke-10 2015.
- Irianty, R.S. dan Komalasari. 2013. Ekstraksi Daun Gambir Menggunakan Pelarut Metanol-Air Sebagai Inhibitor Korosi. *Jurnal Teknobiologi*. IV (1):7-13.

- Irianty, R.S. dan M.P. Sembiring. 2012. Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Gambir dengan Pelarut Etanol-Air Terhadap Laju Korosi Besi pada Air Laut. Universitas Riau. *Jurnal Riset Kimia* 5(2): 165-174.
- Kardiman, Widiyanto, E., Bayuseno, A.P., dan Muryanto, S. 2017. Analisis Pertumbuhan Fasa Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Akibat Penambahan Asam Tartrat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) sebagai Aditif. *Jurnal Ilmu dan Aplikasi Teknik*. 2 (1): 1-4
- Khan, S. A., Khan, S. B., Khan, L. U., Farooq, A., Akhtar, K., and Asiri, A. M. 2018. Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Application in Functional Groups and Nanomaterials Characterization. In S. K. Sharma (Ed.), *Handbook of Materials Characterization* (pp. 317– 344). Springer International Publishing.
- Kharin, A. Y. 2020. *Deep Learning for Scanning Electron Microscopy: Synthetic Data for The Nanoparticle's Detection*. Ultramicroscopy. 219.
- Kowalczyk, D. dan Pitucha, M. 2019. *Application of FTIR Method for the Assessment of Immobilization of Active Substances in the Matrix of Biomedical Materials*. Materials, 12(2972).
- Lestari, D. E., G. R. Sunaryo, Y. E. Yulianto, S. Alibasyah, dan S. B. Utomo. 2004. *Kimia Air Reaktor Riset G. A. Siwabessy*. Makalah Penelitian P2TRR dan P2TKN BATAN.Serpong.
- Lestari, D.E. 2008. *Kimia Air Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Riset. Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN*. Serpong.
- Maraïs, A., Martini, M., Lepoivre, F., Ould-Metidji, M., Collet, A., and O. Tillement. 2016. *Time-Resolved Fluorescence for Real-Time Monitoring of Both Scale and Corrosion Inhibitors: A Game-Changing Technique*. Society of Petroleum Engineers. SPE-179867-MS.
- Mao, Z. and Huang, J. 2007. Habit Modification of Calcium Carbonate In the Presence of Malic Acid. *Journal of Solid State Chemistry*. 180: 453-460.
- Mujiyanti, D. R., Nuryono, N., dan Kunarti, E. S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi yang diimmobilisasi dengan 3-(trimetoksisilil)-1-propantiol. *Jurnal Berkala Ilmiah Sains dan Terapan Kimia*, 4(2):150-167.
- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Ma'Mun, H., and Usamah, M. J. P. C. 2014. Calcium Carbonate Scale Formation in Pipes: Effect of Flow Rates, Temperature, and Malic Acid As Additives On the Mass and Morphology of the Scale. *Procedia Chemistry*, 9, 69-76.

- Nanotech. 2012. *Jasa Karakterisasi PSA (Particle Size Analyzer) dan Zeta Potensial*. Balai Inkubator Teknologi Serpong. Tangerang.
- Noviyanti, Jasruddin, dan Sujiono, E. H. 2015. Karakterisasi Kalsium Karbonat CaCO_3 dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*. 11(2): 169–172.
- Nuraeni, W., Isti, D., Eva, M.W., dan Maula, E.S. 2013. *Verifikasi Kinerja Alat Particle Size Analyzer (PSA) Horiba LB-550 Untuk Penentuan Distribusi Ukuran Nanopartikel*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR. 266-271.
- Nurhayati, T. dan Adalina, Y. 2009. Analisis Teknis dan Finansial Produksi Arang dan Cuka Kayu dari Limbah Industri Penggergajian dan Pemanfaatannya. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27(4), 337-351.
- Permanasari, A., Zulkiyah, Asep, S., dan Wiwi, S. 2016. *Kimia Analitik Instrumen*. Penerbit Universitas Terbuka. Tangerang.
- Pertiwi, A. U. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode Seeded Experiment. *Skripsi FMIPA Universitas Lampung*. Lampung.
- Pundir, R. K. and Janir, P. 2010. Screening for Antifungal Activity of Commercially Available Chemical Food Preservatives. *Internationally Journal of Pharmaceutical Science Review and Research*. 5(2): 25-27.
- Putranto, W. A. dan Susanto, S. 2020. Pengaruh Laju Aliran, Suhu dan Aditif Asam Tartrat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) Terhadap Morfologi dan Fasa Kristal Pada Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Jurnal Ilmiah Momentum*. 16(2).
- Raharjo, S. 2020. *Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral di Dalam Pipa*. Universitas Muhamadiyah Semarang. Semarang.
- Rini, H.U. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4). (*Tesis*). Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung. Hlm. 89.
- Rizalina, H., Cahyono, E., Mursiti, S., Nurcahyo, B., and Supartono, D. 2018. Indonesian Journal of Chemical Science Optimasi Penentuan Kadar Metanol dalam Darah Menggunakan Gas Chromatography. *Journal Chemistry Science*. 7(3): 254-261.
- Rizqi, J., Amestiasih, T., WahyuWidayati, R., Pramono, C., dan Rahmadani, I. F. 2023. Mengungkap Kandungan Tanin Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda Citrifolia* L) Menggunakan Metode Microwave Assisted Extraction (MAE): Pilot Study Bahan Herbal. In *Prosiding Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu*. 5(2): 39-43).

- Salimin, Z. dan Gunandjar. 2007. *Penggunaan EDTA Sebagai Pencegah Timbulnya Kerak Pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair*. Prosiding HALIPDIPTN.
- Sari, R. P. 2011. *Studi Penanggulangan Problem Scale dari Near-Wellbore hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*. Fakultas Teknik UI. Depok.
- Sarwendah, M. A. M. I. K., Feriadi, T. W., dan TN, A. 2019. Pemanfaatan limbah komoditas perkebunan untuk pembuatan asap cair. *Jurnal Littri*, 25(1): 22-30.
- Setiosari, E. 2018. Studi Penggunaan Asap Cair Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Menggunakan Metode Seeded Experiment. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung.
- Sogandi, S. dan Nilasari, P. 2019. Identifikasi Senyawa Aktif Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) dan Potensinya sebagai Inhibitor Karies Gigi. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*. 73-81.
- Sogandi, S. dan Rabima, R. 2019. Identifikasi Senyawa Aktif Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia* L.) dan Potensinya sebagai Antioksidan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22(5): 206-212.
- Sousa, M. F. and Bertran, C. A. 2014. New Methodology Based on Static Light Scattering Measurements for Evaluation of Inhibitors for in Bulk Crystallization. *Journal of Colloid and Interface Science*. 420: 57–64.
- 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 (CaCO_3)*. Laporan Akhir Program Insentif. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, Bahri, S., and Endaryanto, T. 2010. The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate (CaSO_4) Scale Formation. *Asian Journal of Research Chemistry*. 3 (1): 183-187.
- Suharso, Buhani, dan Suhartati, T. 2009. Peranan C-Metil-4,10,16,22-Tetrametoksi Caliks [4] Arena Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Indonesian Journal of Chemistry*. 9: 206–210.
- Suharso dan Buhani. 2011. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *Jurnal Natur Indonesia*. 13(2): 100-104.
- Suharso dan Buhani. 2012. *Penanggulangan Kerak*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Lampung.

- Suharso, Buhani, dan Aprilia, L. 2013. *Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena Dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)*. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulan Kerak 2nd Edition*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Suharso, Buhani, dan Tugiono. 2015. *Pembuatan Senyawa Turunan Kaliksarena Untuk Inhibitor Kerak Material Anorganik*. Prosiding SEMIRATA 2015 Bidang MIPA BKS-PTN Barat. 197–206.
- Suharso, Reno, T., Endaryanto, T., and Buhani. 2017. Modification of Gambier Extracs As Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO₃) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering*. 18. 1–6.
- Suharso, Eka Setiososari, Agung Abadi Kiswandono, Buhani, dan Heri Satria. 2019. Aplikasi LS sebagai Green Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃). *Talenta Conference Series: Science and Technology (ST)*. 2(2).
- Sujatno, A. 2015. Studi Scanning electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM). Batan.
- Sukeksi, L., Sianturi, M., dan Setiawan, L. 2018. Pembuatan Sabun Transparan Berbasis Minyak Kelapa dengan Penambahan Ekstrak Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*) sebagai Bahan Antioksidan. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 7(2): 33-39.
- Sumpono. 2018. *Uji Aktivitas Antioksidan dan Antibakteri Asap Cair Tempurung Kelapa Sawit*. Mengintegrasikan Nature Dan Nurture Untuk Memberdayakan HOTS Di Era Disrupts. 171–178.
- Suprpti, M. L. 2005. *Aneka Olahan Mengkudu Berkhasiat Obat*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Supratman, U. 2010. *Ekiulibrium Penentuan Senyawa Organik*. Universitas Padjajaran Press. Bandung.
- Usamah, M. 2019. Pembentukan kerak Kalsium (CaCO₃) dalam Pipa Beraliran Laminer dengan Variasi Temperatur dan Penambahan Aditif Asam Malat (C₄H₆O₅). *Dintek*. 12(1), 29-37.
- Wahyudi, W. 2022. Buah Mengkudu (*Morinda citrifolia*), Kandungan dan Efektivitasnya sebagai Antihipertensi: literature review. *Jurnal Penelitian Farmasi dan Herbal*: 4(2): 102-108.

- Widianto, E., Kardiman, K., Bayuseno, A. P., dan Muryanto, S. 2017. Identifikasi Struktur Kristal dan Morfologi Endapan Kalsium Karbonat (CaCO_3) pada Pipa Tembaga. *Barometer*. 2(2), 60-63.
- Wijayanto, S.O. dan Bayuseno, A.P. 2014. Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin*. 2 (1).
- 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: 376-383.