

STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*) DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2* SEBAGAI INHIBITOR KERAK MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$) MENGGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT*

(Skripsi)

Oleh

MAUDI CAHYA MUSLIMAH



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

ABSTRAK

STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*) DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2* SEBAGAI INHIBITOR KERAK MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$) MENGGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT*

Oleh

Maudi Cahya Muslimah

Pembentukan kerak $MgCO_3$ menyebabkan timbunan kerak cukup banyak di dalam pipa yang dapat menghambat perpindahan panas dan mengakibatkan kerugian yang sangat besar. Oleh karena itu untuk mengatasi masalah tersebut, telah dilakukan penelitian ini dengan melakukan pengujian inhibitor campuran ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* (NA) pada kerak magnesium karbonat ($MgCO_3$) menggunakan metode *seeded experiment* pada variasi konsentrasi larutan pertumbuhan $MgCO_3$ sebesar 0,100; 0,150; 0,200; dan 0,2500 M yang diujikan pada variasi perbandingan konsentrasi inhibitor NA 1:3, 2:3, 3:3, dan 4:3. Perbandingan konsentrasi yang paling efektif yaitu 4:3 divariasikan kembali menjadi konsentrasi 50, 100, dan 150 ppm. Nilai persentase efektifitas yang paling tinggi yaitu pada perbandingan campuran NA 4:3 dengan konsentrasi 150 ppm terhadap larutan pertumbuhan dengan konsentrasi 0,100 M sebesar 59,14 %. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) setelah ditambahkan inhibitor morfologi kerak $MgCO_3$ menjadi lebih tipis dan terlihat lebih rapuh. Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan kerak $MgCO_3$ tanpa dan dengan penambahan inhibitor memiliki kemiripan puncak dengan data hasil penelitian sebelumnya nomor 96-900-7621 dengan fasa *hydromagnesite*. Nilai rata-rata (*mean*) analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) setelah ditambahkan inhibitor menunjukkan penurunan ukuran partikel kristal yakni dari 28,10 menjadi 21,07 μm dan nilai tengah (*median*) dari 14,41 menjadi 12,95 μm .

Kata Kunci : asap cair tempurung kelapa, ekstrak kulit nanas, inhibitor, kerak $MgCO_3$,.

ABSTRACT

STUDY OF THE ADDITION OF A MIXTURE OF PINEAPPLE PEEL (*Ananas comosus*) EXTRACT AND GRADE 2 COCONUT SHELL LIQUID SMOKE AS A MAGNESIUM CARBONATE (MgCO₃) SCALE INHIBITOR USING THE SEEDED EXPERIMENT METHOD

By

Maudi Cahya Muslimah

The formation of MgCO₃ scale causes quite a lot of scale accumulation in the pipe which can inhibit heat transfer and result in enormous losses. Therefore, to overcome this problem, this research was carried out by testing the inhibitor mixture of pineapple peel extract and coconut shell liquid smoke grade 2 (NA) on magnesium carbonate (MgCO₃) scale using the seeded experiment method at varying concentrations of MgCO₃ growth solution of 0.100; 0.150; 0.200; and 0.250 M tested at various ratios of NA inhibitor concentrations 1:3, 2:3, 3:3, and 4:3. The most effective concentration ratio is 4:3, and it was varied again into concentrations of 50, 100 and 150 ppm. The highest percentage value for effectiveness is the ratio of a mixture of NA 4:3 with a concentration of 150 ppm to a growth solution with a concentration of 0.100 M of 59.10 %. Based on the results of analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) after adding inhibitors the morphology of the MgCO₃ scale becomes thinner and looks more brittle. Analysis using X-Ray Diffraction (XRD) showed that the MgCO₃ scale without and with the addition of inhibitors had a peak similarity with the previous research data number 96-900-7621 with the hydromagnesite phase. The average value (*mean*) analysis using the Particle Size Analyzer (PSA) after adding inhibitors showed a decrease in crystal particle size from 28.10 to 21.07 μm and the median value (*median*) from 14.41 to 12.95 μm

Keywords : coconut shell liquid smoke, inhibitor, MgCO₃ scale, pineapple peel extract.

STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*) DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2* SEBAGAI INHIBITOR KERAK MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$) MENGGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT*

Oleh

Maudi Cahya Muslimah

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul : STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN
EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*)
DAN ASAP AIR TEMPURUNG KELAPA
GRADE 2 SEBAGAI INHIBITOR KERAK
MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$)
MENGUNAKAN METODE *SEDED*
EXPERIMENT

Nama Mahasiswa : *Maudi Cahya Muslimah*

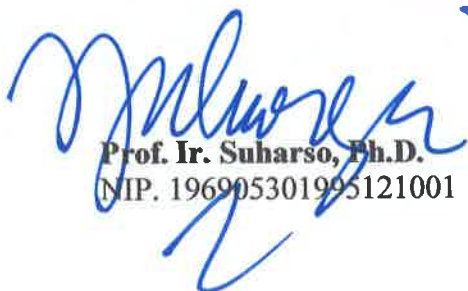
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011059

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing


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



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

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA



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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



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



Penguji : **Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Juli 2023**

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Maudi Cahya Muslimah
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011059
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Studi Penambahan Campuran Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) dan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* Sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*” adalah benar karya sendiri dan sayatidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 24 Juli 2023



Maudi Cahya Muslimah

NPM. 1917011059

RIWAYAT HIDUP

Maudi Cahya Muslimah lahir di Metro, 10 Oktober 2001. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Edwin dan Ibu Wiwik. Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK Darul Fallah tahun 2007 dan melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SDN 2 Kotagajah dan menyelesaikannya pada tahun 2013. Pendidikan sekolah menengah pertama diselesaikan pada tahun 2016 di SMP Negeri 2 Kotagajah. Pendidikan sekolah menengah atas diselesaikan pada tahun 2019 di SMA Negeri 1 Kotagajah. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan mahasiswa di lingkungan Fakultas MIPA. Penulis memulai aktivitas organisasi sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) tahun 2019. Penulis mengikuti kegiatan Karya Wisata Ilmiah yang diadakan oleh BEM FMIPA Unila tahun 2019. Selain itu, penulis pernah menjabat sebagai anggota Biro penerbitan (BP) Himaki FMIPA Unila Periode 2020-2022, Anggota BEM FMIPA Unila periode 2020, serta Sekretaris Dinas Medinfo BEM FMIPA Unila Periode 2021. Tahun 2022 penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul Studi Penambahan Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$) dengan Metode Statis di Laboratorium Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Kelurahan Rawa Betik, Lampung Tengah pada bulan Januari - Februari 2022.

MOTTO

“To survive no need to beat your friends”

(Kim Chi Yeol)

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, karunia dan limpahan ridho-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Penambahan Campuran Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) dan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*” sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada baginda Rasullallah Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta seuruh umatnya yang selalu taat mengamalkan ajarannya.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu mendengarkan doa dan mengabulkan doa penulis selama ini sepanjang hidup penulis dan melindungi penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Kerja Praktik ini tepat waktu.
2. Kepada kedua orang tua penulis Bapak Edwin Kordinata, S.S. dan Ibu Wiwik Herawati tercinta yang selalu tak henti-hentinya memberikan doa, dukungan, kasih sayang, nasihat, semangat, motivasi, dan materi untuk keperluan kuliah dan sekolah penulis. Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanan yang telah Ayah dan Bunda lakukan untuk Icha. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan hingga menuju surga-Nya, diberikan kesehatan dan umur yang panjang agar bisa selalu mendampingi dan menyaksikan perjalanan hidup mbak untuk membahagiakan kalian kelak di dunia maupun di akhirat dan dimudahkan rezekinya untuk kita sekeluarga; *Aamiin Allahuma Aamiin*.
3. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, keikhlasan, dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan

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

4. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing II tugas akhir yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, keikhlasan, dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembahas tugas akhir yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, keikhlasan, dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
6. Ibu Tati Suhartati, Prof., Dr., Dra., M.S. selaku dosen pembimbing akademik, penulis mengucapkan terimakasih atas ketersediaan Ibu dalam memberikan bimbingan perkuliahan, nasihat yang bermanfaat kepada penulis.
7. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
9. Seluruh dosen Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, pengalaman, motivasi dan nasihat selama perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan Ibu.
10. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas dukungan dan bantuan kepada penulis.
11. Mbak Liza selaku laboran yang menyediakan alat di laboratorium, kemudahan dalam mengurus berkas dan membantu menyemangati dalam proses penelitian semoga selalu di berkahi oleh Allah SWT.
12. Rekan seperbimbingan Suharso *research* yaitu Alyaa dan Vani terima kasih sudah menjadi sahabat yang memberikan dukungan, motivasi, nasihat dan semangatnya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.

13. Kakak senior *scale* Kak Restu, Kak Sandi, Kak Putri, Kak Nurul, dan Kak Phirena terima kasih atas bantuan, arahan, dan dukungan sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan Skripsi ini dengan baik dan lancar. Semoga Allah SWT selalu membalas dengan kebaikan yang tak ternilai.
14. Sahabat dan rekan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik atas bantuan dan dukungannya.
15. Keluarga besar mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung Angkatan 2019 yang telah memberikan semangat dan bantuannya secara moril maupun materil kepada penulis
16. Sahabat dan teman seperjuangan penulis yaitu Bulu Babi Pangsit. Terima kasih telah memberikan semangat, dukungan, nasihat, bantuan, keceriaan yang selalu membuat penulis termotivasi untuk mengerjakan Skripsi ini.

Bandar Lampung, 23 Juli 2022

Penulis,

Maudi Cahya Muslimah

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	18
1.1. Latar Belakang dan Masalah	18
1.2. Tujuan Penelitian.....	4
1.3. Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Proses Pengendapan Senyawa Anorganik.....	5
2.2. Kerak.....	6
2.3. Mekanisme Pembentukan Kerak.....	7
2.4. Faktor Pembentukan Kristal	11
2.5. Metode Pencegahan Pembentukan Kerak	16
2.6. Magnesium Karbonat... ..	18
2.7. Tanaman Nanas (<i>Ananas comosus</i>).....	20
2.8. Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	22
2.9. <i>Seeded Experiment</i>	23
2.10. Analisis dan Karakterisasi Kerak.....	24
III. METODE PENELITIAN	30
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	30
3.2. Alat dan Bahan	30
3.3. Prosedur Penelitian	31
3.3.1. Pembuatan Inhibitor dari Ekstrak Kulit Buah Nanas dengan Variasi Konsentrasi Berbeda.....	31
3.3.2. Pembuatan Inhibitor dari Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	32
3.3.3. Pembuatan Inhibitor dari Campuran Ekstrak Kulit Buah Nanas dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	32

3.3.4. Uji Ketahanan Inhibitor.....	33
3.3.5. Pembuatan Bibit Kristal.....	33
3.3.6. Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal MgCO ₃	34
3.4. Analisis Data.....	36
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	37
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1. Uji Ketahanan Inhibitor.....	38
4.2. Analisis Inhibitor Menggunakan Spektrofotometer Inframerah (IR).....	39
4.3. Analisis Inhibitor Menggunakan <i>Gas Chromatorgraphy-Mass Spectrometer</i> (GC-MS).....	41
4.4. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor pada Beberapa Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	45
4.5. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO ₃ dengan Penambahan Inhibitor pada Beberapa Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	46
4.5.1. Penentuan Laju Pertumbuhan MgCO ₃ dengan Perbandingan Inhibitor Ekstrak Kulit Nanas.....	46
4.5.2. Penentuan Laju Pertumbuhan MgCO ₃ dengan Perbandingan Inhibitor Campuran Ekstrak Kulit Nanas dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> (NA).....	48
4.5.3. Penentuan Laju Pertumbuhan MgCO ₃ dengan Penambahan Inhibitor NA (4:3) pada Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan Berbeda dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	52
4.6. Analisis Kualitatif Kerak MgCO ₃	55
4.7. Analisis Morfologi Kerak MgCO ₃ Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	56
4.8. Analisis Struktur Kerak MgCO ₃ Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	58
4.9. Analisis Distribusi Partikel Kerak MgCO ₃ Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....	60
V. SIMPULAN DAN SARAN	63
5.1. Simpulan.....	63
5.2. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Representatif skematik proses pertukaran panas.....	6
2. Nukleasi homogen.....	8
3. Nukleasi heterogen.....	8
4. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air	10
5. Mekanisme pembentukan deposit kerak permanen	11
6. Struktur kristal dan <i>amorf</i>	12
7. Tahapan kristalisasi.....	13
8. Diagram konsentrasi terhadap temperatur pembentukan inti kristal.....	14
9. Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer hijau.....	18
10. Endapan kerak magnesium karbonat dalam pipa.....	19
11. Limbah kulit nanas.....	20
12. Struktur senyawa tanin.....	21
13. Jenis asap cair tempurung kelapa.....	22
14. Skema kerja alat XRD.....	26
15. Skema Instrumentasi SEM.....	27
16. Morfologi kerak magnesium karbonat.....	28
17. Diagram alir penelitian.....	37
18. Uji ketahanan inhibitor (a) larutan ekstrak kulit nanas tanpa penambahan asap cair (b) larutan campuran ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> (NA 4:3).....	39
19. Spektrum IR (a) inhibitor asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> dan (b) ekstrak kulit nanas.....	40
20. Kromatogram ekstrak kulit nanas.....	42
21. Kromatogram asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	44

22. Grafik laju pertumbuhan kerak MgCO ₃ berbagai variasi konsentrasi.....	45
23. Grafik laju pertumbuhan kerak MgCO ₃ dengan inhibitor ekstrak kulit nanas (a) 0,100 M (b) 0,150 M dan (c) 0,200 M.....	47
24. Laju pertumbuhan kerak MgCO ₃ dengan inhibitor NA (a) 0,100 M (b) 0,150 M (c) 0,200 M dan (d) 0,2500 M.....	50
25. Persen efektivitas inhibitor NA terhadap laju pertumbuhan MgCO ₃	51
26. Grafik laju pertumbuhan kerak MgCO ₃ menggunakan inhibitor NA 4:3 (a) 0,100 M (b) 150 M, dan (c) 200 M.....	53
27. Perbandingan inhibitor sebelum dan sesudah penambahan asap cair tempurung kelapa <i>grade</i> 2 dengan perbandingan NA 4:3.....	54
28. Perbedaan larutan pertumbuhan MgCO ₃ 0,100 M (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor campuran NA 4:3.....	55
29. Kerak MgCO ₃ (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan inhibitor campuran 4:3.....	56
30. Morfologi kerak MgCO ₃ 0,100 M dengan perbesaran 3000x (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor campuran NA 4:3.....	57
31. Spektrum analisis SEM EDX kerak MgCO ₃	58
32. Difraktogram kerak MgCO ₃ (a) dengan penambahan inhibitor campuran NA 4:3 dan (b) tanpa penambahan inhibitor.....	59
33. Hasil karakterisasi XRD MgCO ₃	59
34. Kurva hasil analisis PSA kerak MgCO ₃ (a) tanpa inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor NA 4:3.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan senyawa kimia ekstrak kulit nanas	21
2. Daerah serapan erapan FTIR dari beberapa gugus fungsi.....	24
3. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak kulit nanas (N) dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> (A).....	33
4. Gugus fungsi hasil analisis FTIR ekstrak nanas dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	41
5. Hasil kromatogram GC-MS yang terkandung dalam ekstrak kulit Nanas.....	42
6. Kandungan kimia tertinggi dalam ekstrak kulit nanas.....	43
7. Komponen kimia tertinggi yang terkandung dalam asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	44
8. Nilai efektivitas laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$	46
9. Nilai pH ekstrak kulit nanas dan larutan pertumbuhan $MgCO_3$ dengan variasi konsentrasi berbeda.....	48
10. Nilai pH perbandingan konsentrasi inhibitor campuran NA.....	49
11. Nilai pH larutan pertumbuhan sebelum dan setelah penambahan Inhibitor.....	49
12. Data perbandingan efektivitas inhibitor campuran NA terhadap laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$	52
13. Data persentase efektivitas inhibitor NA 4:3 pada kerak $MgCO_3$	52
14. Perbandingan intensitas pola difraksi $MgCO_3$	60

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Masalah

Laju aliran fluida produksi yang berjalan optimum menjadi indikator penting dalam bidang industri, Terdapat berbagai ion – ion yang dapat larut dalam air ataupun minyak, misalnya seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg), karbonat (CO_3), sulfat (SO_4) dan masih banyak lainnya. Ion – ion tersebut dapat bersatu menjadi sebuah senyawa yang nantinya akan menimbulkan endapan atau kerak (*scale*) pada pipa-pipa industri. Adanya kerak dapat memperkecil aliran fluida dan berdampak pada turunnya produksi industri tersebut. Hal ini dikarenakan mengecilnya diameter tubing dan sistem perpipaan yang menyebabkan menurunnya permeabilitas dari batuan formasi penyusun pipa (Asnawati, 2001).

Kerak sendiri dapat didefinisikan sebagai deposit dari senyawa-senyawa anorganik umumnya air dan garam yang terendapkan dan dapat menimbulkan timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kemmer, 1979). Permasalahan kerak ini berdampak negatif pada industri, contohnya yaitu pada salah satu industri minyak terbesar di Indonesia (PT. Pertamina, Tbk) yang harus mengganti setiap bagian pipa geotermal yang rusak setiap 10 tahun (Suharso *et al.*, 2010; Suharso *et al.*, 2014; Suharso *et al.*, 2017a; Suharso *et al.*, 2017b). Permasalahan utama dari terbentuknya kerak ini disebabkan karena adanya pengaruh tekanan, suhu, pH, dan kandungan air formasi sehingga membentuk endapan pada sepanjang pipa alir produksi minyak.

Kerak magnesium karbonat ($MgCO_3$) adalah tumpukan keras dari bahan anorganik dalam bentuk ion Mg^{2+} dan CO_3^{2-} terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air yang akan membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003). Adanya kerak yang terbentuk pada perpipaan industri dapat menimbulkan banyak kerugian, sehingga dibutuhkan suatu cara untuk mengurangi dan menekan laju pertumbuhan kerak yang semakin tinggi. Dari berbagai macam metode, salah satu cara untuk mengurangi dan mencegah pertumbuhan kerak yaitu dengan menambahkan suatu inhibitor kerak yang ramah lingkungan (Suharso dan Buhani, 2011). Metode ini mulai banyak dikembangkan karena memiliki tingkat keefektifan yang cukup tinggi dan biayanya relatif lebih murah.

Inhibitor kerak didefinisikan sebagai bahan kimia yang ditambahkan untuk mencegah dan menekan laju pertumbuhan kerak apabila ditambahkan dengan konsentrasi yang kecil ke dalam air (Halimatuddahlia, 2003). Prinsip kerja inhibitor kerak yaitu terjadinya pembentukan senyawa kompleks antara inhibitor dengan unsur-unsur penyusun kerak. Inhibitor ini dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu anorganik dan organik (Patton, 1981). Karena inhibitor kerak anorganik memiliki sifat berbahaya dan kurang ramah lingkungan, kebanyakan peneliti memilih menggunakan inhibitor kerak organik seperti limbah buah-buahan (kulit, bonggol, daging buah), salah satunya adalah buah nanas.

Nanas merupakan salah satu komoditas unggulan yang dibudidayakan di provinsi Lampung. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) (2016), volume produksi nanas di daerah Lampung mencapai 705.883 ton atau sekitar 24,46 % dari total produksi nanas nasional pada tahun 2021. Hingga saat ini, Lampung memiliki dua perusahaan besar di sektor perkebunan yang memproduksi nanas dalam skala besar, salah satunya adalah PT. Great Giant Pineapple yang terletak di Lampung Tengah dan Lampung Timur. Buah nanas dapat menjadi inhibitor kerak yang cukup baik. Kulit buah nanas mengandung antioksidan, bioaktif berupa vitamin C, beta karoten, flavonoid, kuersetin, fenol, saponin, enzim dan juga senyawa tanin (Mardalena *et al.*, 2011).

Tanin mempunyai senyawa polifenol yang mampu menghambat proses oksidasi dan memiliki sifat antara lain dapat larut dalam air atau alkohol karena tanin banyak mengandung fenol yang memiliki gugus OH, yang dapat mengikat logam berat seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Irianty dan Sembiring, 2012). Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anggraini (2022) menjelaskan bahwa senyawa tanin yang terdapat pada kulit buah nanas dapat membantu mengurangi kerak CaCO_3 dengan efektivitas inhibitorynya mencapai 80,17 %. Hal ini disebabkan tanin memiliki sifat sukar dipisahkan dan sukar mengkristal sehingga saat penambahan inhibitor, senyawa ini akan melekat pada kerak dan ketika dilepaskan kerak akan ikut terangkat dari pipa. Namun, ekstrak kulit nanas ini memiliki kelemahan yaitu tidak bisa disimpan dalam jangka waktu yang lama karena bisa memicu timbulnya mikroorganisme seperti jamur bila disimpan pada suhu kamar dalam waktu yang lama (Wu *et al.*, 2021; Zhou *et al.*, 2021). Sehingga digunakan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai zat aditif yang dipadukan dengan ekstrak kulit nanas yang diketahui memiliki kandungan senyawa yang dapat mencegah tumbuhnya mikroorganisme seperti jamur karena mengandung senyawa fenolik, asam seperti asam asetat, asam butirat, asam propionat, dan mengandung suatu gugus karbonil (Darmadji, 1996).

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *seeded experiment* yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas inhibitor dalam proses penghambatan kerak magnesium karbonat (MgCO_3) dengan menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Keunggulan metode ini adalah dapat mendorong terjadinya proses kristalisasi dengan lebih cepat yang mengakibatkan laju pertumbuhan inti kristal semakin cepat yang akan memudahkan untuk proses karakterisasi (Pertiwi, 2018). Karakterisasi dilakukan untuk menganalisis laju pertumbuhan kerak dengan menggunakan berbagai instrumen seperti spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *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 dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mempelajari dan menganalisis pengaruh penambahan campuran dari ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* yang digunakan sebagai inhibitor kerak magnesium karbonat (MgCO_3) menggunakan metode *seeded experiment*.
2. Menentukan efektifitas campuran dari ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak magnesium karbonat (MgCO_3) menggunakan metode *seeded experiment*.

1.3. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan memberikan informasi tentang efektifitas dan pengaruh ekstrak kulit nanas dengan penambahan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor pembentukan kerak MgCO_3 , sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut dalam bidang industri dan mengurangi kerugian serta dampak negatif yang ditimbulkan dari pengerakan.

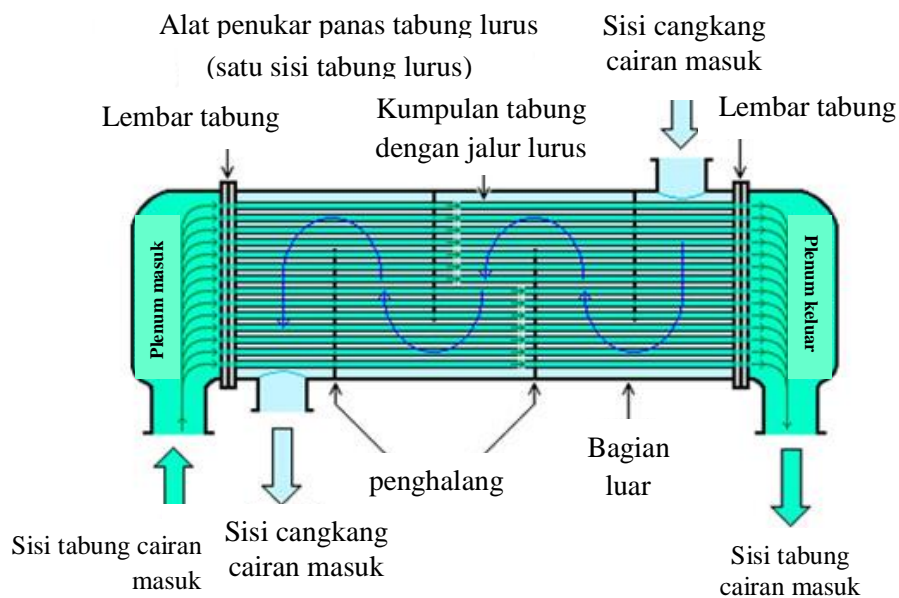
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Pengendapan Senyawa Anorganik

Endapan dapat didefinisikan sebagai bentuk kristal keras yang ditemukan menempel pada suatu proses perpindahan panas dari suatu instrumen yang dilakukan dengan cara pengeboran (*drilling*). Pengendapan mineral khususnya anorganik dapat dengan mudah terbentuk pada permukaan air yang mengalir ketika konsentrasi larutan memiliki kandungan ion terlarut yang tinggi. Nilai kelarutan ion yang sudah terlampaui akan menyebabkan senyawa tidak lagi larut tetapi terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padat yang kemudian akan mengalami pengendapan. Endapan yang banyak dijumpai pada industri minyak diantaranya, magnesium karbonat ($MgCO_3$), kalsium karbonat ($CaCO_3$), kalsium sulfat termasuk gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) dan anhidrat ($CaSO_4$), serta barium sulfat ($BaSO_4$) (Asnawati, 2001). Reaksi yang berlangsung selama proses pengendapan akan menyebabkan jumlah zat terlarut akan mengalami perubahan suhu dan penurunan tekanan. Perubahan ini akan menyebabkan terganggunya keseimbangan aliran air menyebabkan terbentuknya endapan kristal (Sari, 2011).

Air merupakan senyawa yang memiliki berbagai manfaat. Salah satunya air sebagai pendingin untuk menghilangkan panas yang tidak diinginkan dari efek permukaan perpindahan panas contohnya pada alat penukar panas, kondensor, evaporator, *cooling water*, dan *pipe walls* yang biasanya digunakan dalam proses pendinginan. Proses pendinginan dengan air ini dapat dilakukan dengan mengalirkan air ke seluruh tabung yang terkena proses panas sehingga air panas

akan berubah menjadi dingin dalam *cooling tower* melalui proses penguapan. Pendinginan uap tersebut memungkinkan sistem air berada dalam keadaan supersaturasi, dengan adanya mineral terlarut yang dipengaruhi oleh magnesium, karbonat, sulfat, fosfat, logam silikat/silika, besi, yang akan membentuk kerak. Pada keadaan supersaturasi, pembentukan kerak dapat terjadi dikarenakan naiknya suhu yang mendadak pada permukaan perpindahan panas yang terjadi ketika air menyentuh permukaan (Kragh *et al.*, 1981). Proses pendinginan ini dapat dilakukan secara berulang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 yang memperlihatkan skematik dari proses pertukaran panas (Wang, 2019).



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

2.2. Kerak

Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi yang disebabkan oleh partikel mineral dalam air (Bhatia, 2003). Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan supersaturasi larutan. Dalam keadaan tersebut beberapa molekul akan bergabung yang akan menghasilkan inti kristal. Kristal-kristal yang terbentuk tadi mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk

menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008; Hasson *and* Semiat, 2005; Suharso dan Buhani, 2015).

Kerak bisa berupa tumpukan keras organik maupun anorganik yang disebabkan oleh adanya unsur-unsur pembentuk kerak seperti natrium, kalsium, klorida, sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan supersaturasi. Jika konsentrasi unsur tersebut melebihi kelarutannya dalam air, kerak akan menempel pada permukaan dan kemudian akan menetap di permukaan dalam pipa (Raharjo, 2020). Kerak dapat menutupi atau menyumbat air yang mengalir dalam pipa dan sekaligus menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Aliran fluida yang terganggu akibat pengerakan akan menyebabkan suhu pada pipa semakin naik dan tekanan semakin tinggi yang mengakibatkan kemungkinan pipa pecah dan rusak (Patton, 1981).

Beberapa komponen khas dari kerak yang sering dijumpai pada industri minyak, magnesium karbonat ($MgCO_3$), kalsium karbonat ($CaCO_3$), kalsium sulfat ($CaSO_4$), turunan dari kalsium bikarbonat, kalium fosfat, dan sejumlah besar ortofosfat (Lestari, 2008; Nunn, 1997; Suharso dan Buhani, 2015).

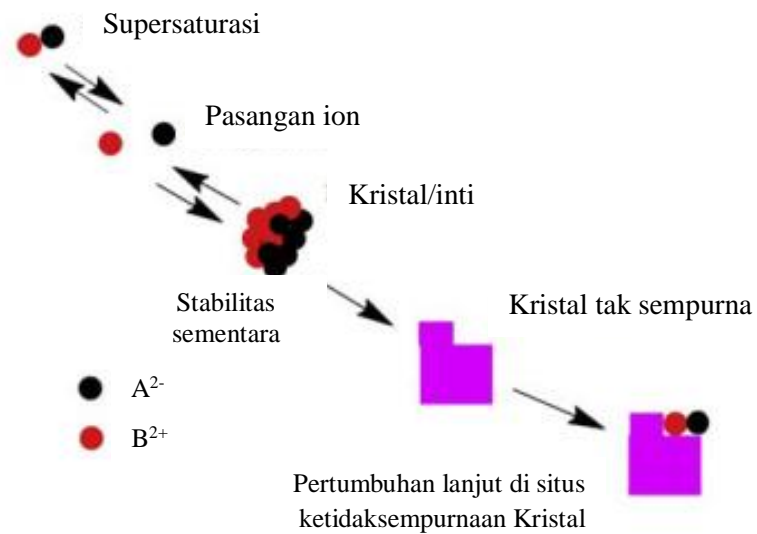
2.3. Mekanisme Pembentukan Kerak

Menurut Raharjo (2020) mekanisme pembentukan kerak dapat dikelompokkan menjadi enam langkah sebagai berikut.

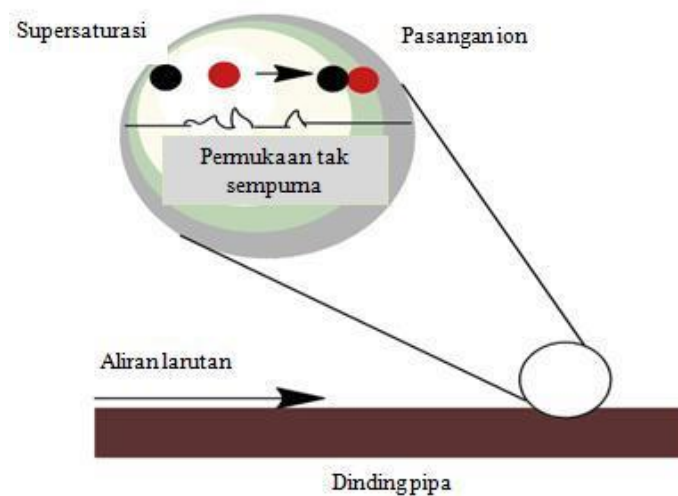
1. Tahap pembentukan inti kristal (nukleasi)

Pada tahap ini ion-ion yang terkandung dalam suatu fluida akan mengalami reaksi kimia untuk membentuk inti kristal. Inti kristal yang terbentuk sangat halus sehingga tidak akan mengendap dalam proses aliran. Selama proses inisiasi dapat diamati dengan turunnya nilai konduktivitas secara signifikan. Waktu pertama kali nilai konduktivitas disebut waktu induksi. Setelah periode ini telah diamati, ketahanan *fouling* mulai meningkat dengan waktu

dalam beberapa metode. Berdasarkan metode pembentukannya, pembentukan kristal dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu secara homogen (*homogenous nucleation*) dan heterogen (*heterogenous nucleation*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



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



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

2. Tahap Pertumbuhan Inti

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

3. Tahap Pengendapan kristal ke permukaan

Kristal kasar yang terbentuk dari proses pertumbuhan kristal mengendap ke permukaan dalam berbagai proses termasuk : (i) difusi, (ii) sedimentasi, (iii) turbulen dan (iv) *thermophoresis*. Difusi memainkan peran penting dalam pergerakan terutama, dalam *transport* baik gas dan partikel mineral.

Sedimentasi memiliki arti penting dalam pergerakan dapat mengakibatkan partikel padat dan kecepatan fluida rendah. Han *et al* (2005) menemukan bahwa pusaran dalam aliran fluida yang mampu menembus laminar *sublayer* dan mengangkut bahan padat ke permukaan. Mereka juga mengamati bahwa, semburan turbulen adalah mekanisme *removal* yang efisien. Mekanisme *thermophoresis* terjadi untuk ukuran partikel di bawah 5 mikron dan menjadi dominan di sekitar 0,1 mikron.

4. Attachment ke permukaan

Attachment ke permukaan merupakan proses penempelan dari beberapa kerak yang terjadi saat di permukaan pipa. Namun, tidak semua kerak yang dibawa ke permukaan benar-benar menempel. Gaya yang bekerja pada materi ketika mereka mendekati permukaan memainkan peran penting. Sifat-sifat partikel (kepadatan, elastisitas, permukaan dan kondisi) dan sifat permukaan (kekasaran dan jenis material) permukaan juga dapat memainkan peran penting dalam mekanisme *removal*.

5. Removal dari permukaan

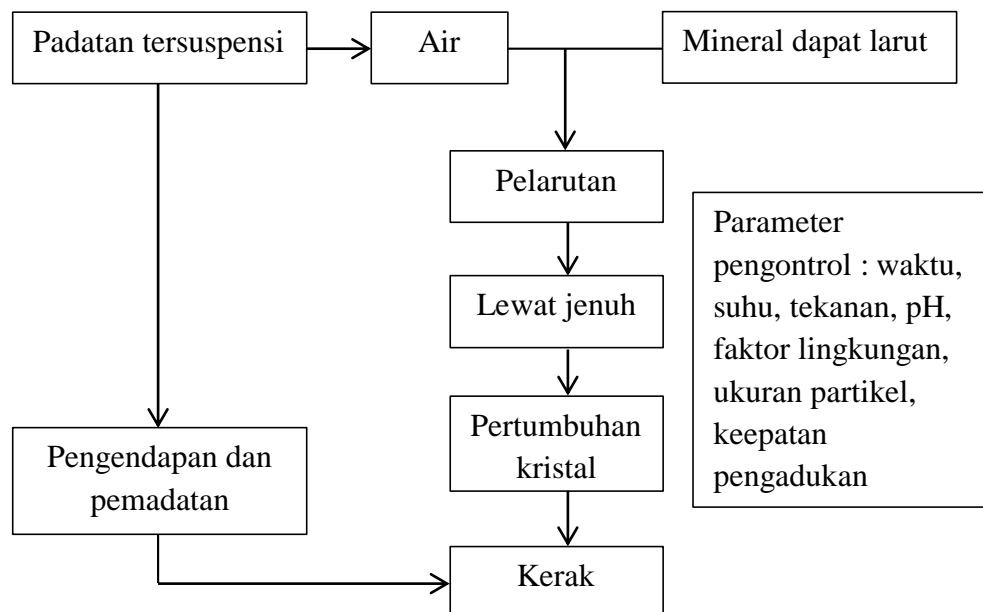
Kristal yang tidak mengalami *attachment* ke permukaan dapat mengalami *removal*. *Removal* merupakan proses penghilangan partikel kristal dari permukaan pipa yang dilakukan oleh beberapa mekanisme, termasuk partikel *spalling* (yang disebabkan oleh gaya geser dan semburan turbulan), resolusi material deposit dan erosi. Kecepatan aliran dan kekasaran permukaan juga

dapat memainkan peran penting dalam *removal* kristal dari permukaan.

Deposit material dapat terjadi jika pH dari aliran cair diubah oleh aditif atau beberapa cara lain. Pengikisan partikel kristal dapat menghilangkan materi dari lapisan pengerakan.

6. *Aging* Deposit

Aging deposit merupakan proses penuaan deposit kristal yang dapat menyebabkan ketebalan deposit bertambah seiring waktu hingga mencapai nilai stabil dan kekuatan mekanik deposit dapat berubah dengan waktu karena perubahan dalam struktur kristal atau komposisi kimia dari deposit. Penuaan atau *aging* dapat memperkuat atau memperlemah deposit kerak (Han *et al.*, 2005).

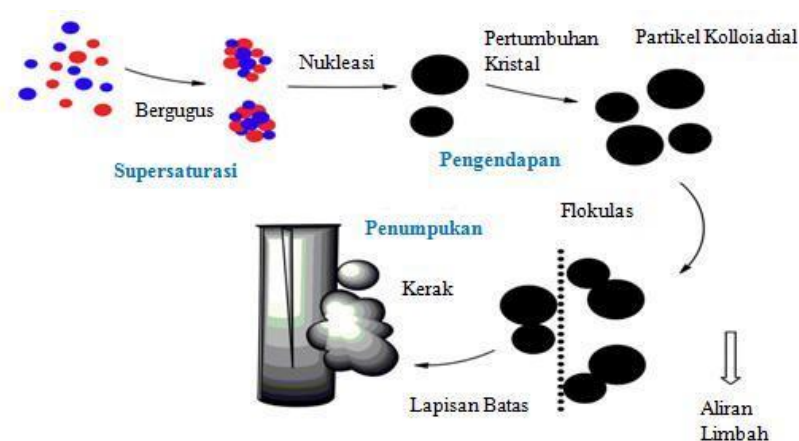


Gambar 4. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air (Salimin dan Gunandjar, 2007).

Mekanisme pembentukan kerak air pada Gambar 4 bersifat kompleks dan dimulai dengan interaksi elektrostatis antara anion dan kation terlarut untuk membentuk pasangan ion. Konsentrasi pasangan ion meningkat pada keadaan supersaturasi yang lebih tinggi dan secara berurutan dapat bertindak sebagai *building block* untuk partikel yang lebih besar.

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

1. Ion dalam larutan konsentrat melalui keadaan supersaturasi. Ion-ion mulai bergugus/berkelompok dalam reaksi yang bersifat *reversible* sebagai proton inti yang mencapai hingga 1000 atom.
2. Ketika protonuklei tumbuh, ion mulai menyusun dirinya sendiri dan inti yang berbentuk reguler berkembang. Tahap ini juga bersifat *reversible* sampaidengan 3 Å, tetapi ketika inti tumbuh, sifat *reversible* ini menjadi kurang memungkinkan.
3. Tahap akhir adalah pertumbuhan permanen menjadi kristal mulai dari inti hingga berukuran 0,3 mm (ukuran kritis yang didorong oleh keadaan supersaturasi), yang juga dapat bertumpuk pada permukaan perpindahan panas dan disebut sebagai nukleasi heterogen ditunjukkan pada Gambar 5.

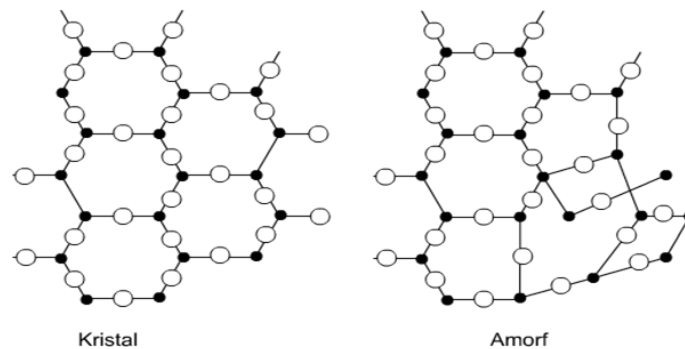


Gambar 5. Mekanisme pembentukan deposit kerak permanen (Addicott *et al.*, 1987) .

2.4. Faktor Pembentukan Kristal

Kristal terbentuk dari komposisi atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul zat padat yang memiliki susunan berulang dan jarak yang teratur dalam tiga dimensi. Berdasarkan struktur atom penyusunnya, bahan padat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal (*polycrystal*), dan *amorf* (Smallman

dan Bishop, 2000). Kristal tunggal mempunyai struktur tetap karena atom penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi berulang dan panjang tak berhingga. Polikristal merupakan kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang saling menumpuk yang membentuk benda padat. Sedangkan struktur *amorf* memiliki pola susunan atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang dimiliki tidak teratur dengan jangka yang pendek (Rasyid, 2006). Struktur dari kristal dan *amorf* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur kristal dan *amorf* (Smallman dan Bishop, 2000).

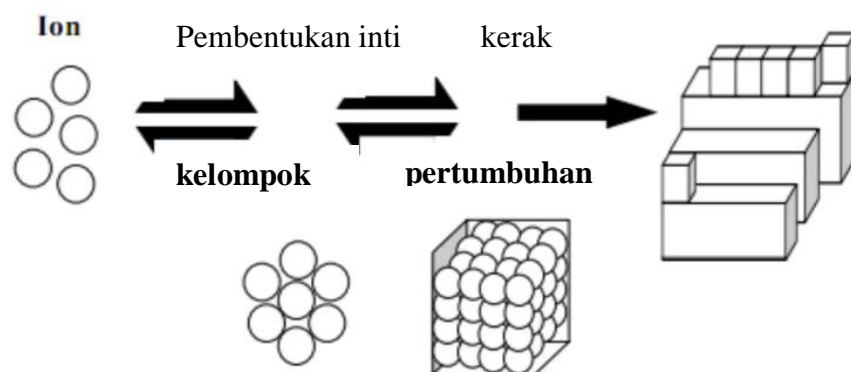
Pembentukan kristal dapat dipengaruhi oleh faktor – faktor sebagai berikut.

1. Kristalisasi

Kristalisasi adalah suatu proses pembentukkan kristal dari larutannya, dimana kristal yang dihasilkan dapat dipisahkan secara mekanik. Kristalisasi dari larutan dapat terjadi jika padatan terlarut dalam keadaan berlebih (di luar kesetimbangan), sehingga menyebabkan sistem akan mencapai kesetimbangan dengan cara mengkristalkan padatan terlarut (Dewi *and* Ali, 2003). Pertumbuhan kristal juga dapat terjadi bila konsentrasi suatu zat terlarut dalam larutannya melewati kadar kelarutan lewat jenuhnya pada suhu tertentu. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh dengan jalan pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan, dan dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya (Setiososari, 2018).

Kristalisasi memiliki dua tahap proses, yaitu tahap pembentukkan inti (nukleasi) yang merupakan tahap mulai terbentuknya zat padat baru dan tahap

pertumbuhan kristal yang merupakan tahap inti zat padat yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan menjadi kristal yang lebih besar. Laju pertumbuhan kristal ditentukan oleh laju difusi zat terlarut pada permukaan kristal dan laju pengendapan zat terlarut pada kristal tersebut. Jika laju pembentukan inti kristal tinggi maka akan semakin banyak kristal yang terdiri dari partikel-partikel kecil yang terbentuk. Faktor lainnya yaitu laju pertumbuhan kristal. Semakin tinggi laju pertumbuhan maka kristal yang terbentuk akan besar. Kristal-kristal yang telah terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008; Hasson *and* Semiat, 2005). Contoh kasus laju pertumbuhan Kristal yang mudah diamati terjadi pada pertumbuhan Kristal borak (Suharso, 2003; Suharso, 2004; Suharso, 2007; Suharso, 2009; Suharso, 2009a; Suharso, 2010; Suharso, 2010a; Suharso, 2010b; Suharso, 2012; Suharso, 2012a; Suharso *et al.*, 2002; Suharso *et al.*, 2004; Suharso *et al.*, 2007; Suharso *et al.*, 2007a; Suharso *et al.*, 2008). Proses tahap pembentukan kristalisasi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tahapan kristalisasi (Zeihner *et al.*, 2003).

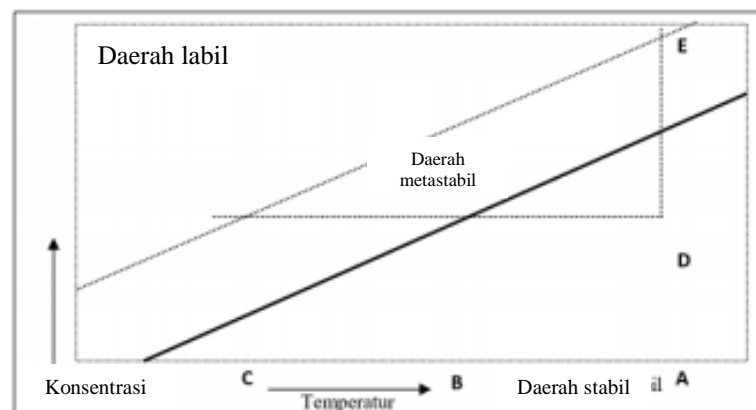
Pembentukan kerak pada umumnya terdiri dari empat tahap, yaitu tercapainya keadaan larutan lewat jenuh (supersaturasi), pembentukan inti kristal (nukleasi), pertumbuhan pada sekeliling inti, dan pertumbuhan kristal kecil menjadi lebih besar (penebalan lapisan kerak) (Hasson *and* Semiat, 2005).

2. Kelarutan Endapan

Endapan terbentuk jika larutan menjadi terlalu jenuh dengan zat bersangkutan. Endapan mungkin berupa kristal atau koloid, dan

dapat dikeluarkan dari larutan dengan penyaringan. Kelarutan sendiri memiliki definisi konsentrasi molar yang bernilai sama dengan larutan jenuhnya. Kelarutan suatu zat tergantung berbagai kondisi, seperti temperatur, tekanan, konsentrasi, bahan-bahan lain dalam larutan itu dan pada komposisi pelarutnya. Kelarutan juga tergantung pada sifat dan konsentrasi zat-zat lain terutama ion-ion dalam campuran seperti ion sejenis dan ion asing. Ion asing dapat memengaruhi kelarutan endapan menjadi lebih besar. Hasil kali kelarutan merupakan nilai akhir yang dicapai oleh hasil kali ion ketika kesetimbangan tercapai antara fase padat dari garam. Jika hasil kali ion berbeda dengan hasil kali kelarutan maka sistem akan berusaha mencapai nilai hasil kali kelarutan. Bila hasil kali ion lebih besar dari hasil kali kelarutan maka garam larutan akan mengendap. Hasil kali kelarutan menentukan kesetimbangan, tetapi tidak memberikan informasi tentang laju ketika kesetimbangan itu terjadi (Svehla, 1990).

3. Derajat Lewat Jenuh (Supersaturasi)



Gambar 8. Diagram konsentrasi terhadap temperatur pembentukan inti kristal (Wafiroh, 1995).

Supersaturasi merupakan suatu kondisi dimana larutan yang mengandung zat terlarut lebih besar daripada yang dibutuhkan pada sistem kesetimbangan larutan jenuh. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh melalui proses pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan serta dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya. Semakin tinggi derajat lewat jenuh maka semakin besar kemungkinan untuk membentuk inti baru sehingga akan semakin besar

laju pembentukan inti yang mengakibatkan kristal yang terbentuk semakin besar pula.

Proses pendinginan atau perubahan suhu biasa dikenal dengan istilah *cooling*, yaitu penurunan suhu. Apabila suatu larutan jenuh diturunkan suhunya maka konsentrasi jenuh larutan tersebut akan turun, sehingga kondisi supersaturasi tercapai dan kristal mulai terbentuk. Berdasarkan Gambar 8, garis tebal menunjukkan kelarutan normal untuk zat terlarut dalam pelarut, sedangkan garis putus-putus menunjukkan kurva lewat jenuh, posisinya dalam diagram tergantung pada zat-zat pengotor. Pada diagram pembentukan inti kristal, jika suatu larutan yang terletak pada titik A dan didinginkan tanpa kehilangan volume pelarut (garis ABC), maka pembentukan inti secara spontan tidak akan terjadi sampai kondisi C tercapai. Larutan lewat jenuh dapat juga tercapai dengan mengurangi sejumlah volume pelarut dari pelarutnya dengan proses penguapan (Wafiroh, 1995).

Selain 3 faktor yang telah dijabarkan diatas, terdapat faktor – faktor lain yang mempengaruhi terbentuknya kerak atau kristal diantaranya sebagai berikut.

1. Kualitas Air

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

2. Temperatur Air

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

3. Laju Alir Air

Laju pembentukan kerak akan meningkat dengan turunnya laju alir sistem. Dalam kondisi tanpa pemakaian penghambat kerak, pada sistem

dengan laju alir 0,6 m/detik maka laju pembentuk kerak hanya seperlima dibanding pada laju alir air 0,2 m/detik (Lestari, 2008).

2.5. Metode Pencegahan Pembentukan Kerak

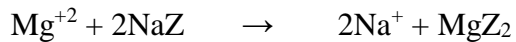
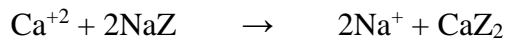
Menurut Lestari (2008) pencegahan pembentukan kerak pada peralatan industri dapat dilakukan dengan beberapa metode sebagai berikut.

1. Pengendalian pH

Pengendalian pH dengan penginjeksian asam menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl) telah lama digunakan dalam pencegahan pertumbuhan kerak oleh garam-garam kalsium, garam logam bivalen dan garam fosfat (Lestari *et al.*, 2004). Kelarutan bahan pembentuk kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Namun, pada pH 6,5 atau kurang, korosi baja, karbon, tembaga, dan paduan tembaga akan berlangsung dengan cepat, sehingga pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak hanyalah pada pH 7 - 7,5. Oleh karena itu, suatu sistem otomatis penginjeksian asam diperlukan untuk mengendalikan pH secara tepat. Selain itu, asam sulfat dan asam klorida mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya. Metode ini semakin jarang digunakan (Lestari *et al.*, 2004).

2. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Penggunaan air bebas mineral tidak akan menimbulkan pengerakan karena seluruh garam-garam terlarut dapat dihilangkan. Oleh karena itu, pemakaian air bebas mineral merupakan metode yang tepat untuk menghambat kerak (Lestari *et al.*, 2004). Namun, penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang cukup tinggi sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja (Halimatuddahlia, 2003). Sedangkan metode pelunakan dapat dilakukan dengan zeolit dalam bentuk natrium dari resin yang diperoleh dengan cara pertukaran ion yang ditunjukkan pada persamaan reaksi berikut.



Namun, tidak ada bukti yang meyakinkan bahwa salah satu dari fungsi-fungsi ini secara signifikan meningkatkan kinerja sistem. Bila dibandingkan dengan penambahan *antiscalant*, kelemahan utama dalam pelunakan zeolit adalah biaya yang mahal (Nugraha, 2021).

3. Peningkatan Kondisi Operasi Alat Penukar Panas

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

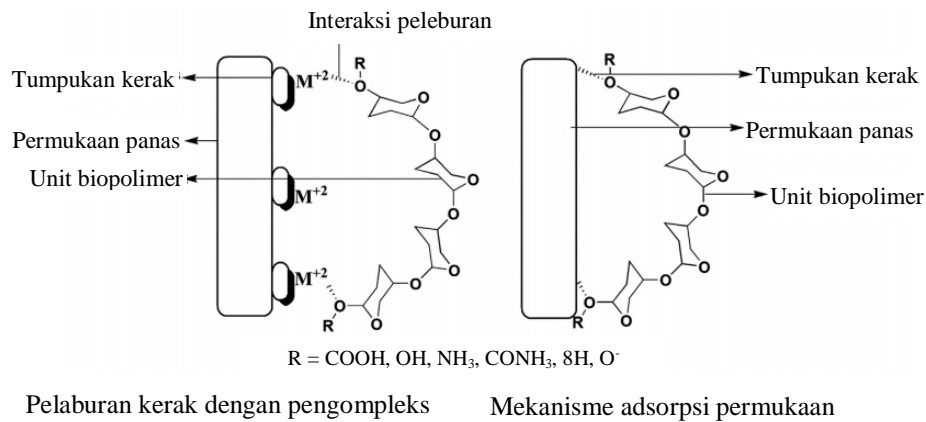
4. Penggunaan Inhibitor kerak

Inhibitor kerak pada umumnya merupakan bahan kimia yang ditambahkan pada substansi untuk mencegah atau menghentikan terbentuknya kerak dengan konsentrasi yang kecil ke dalam air (Halimatuddahlia, 2003). Prinsip kerja dari inhibitor kerak adalah pembentukan senyawa kompleks (*khelat*) antara inhibitor dengan unsur-unsur penyusun kerak (Patton, 1981). Ekstrak gambir merupakan salah satu inhibitor kerak (CaSO_4) yang mana persen efektivitasnya mencapai 60-100 % pada konsentrasi 50-250 ppm (Suharso *et al.*, 2010).

Terdapat dua macam inhibitor yang sering digunakan pada peralatan industri yaitu inhibitor kerak anorganik dan inhibitor kerak organik. Kebanyakan inhibitor organik ramah lingkungan mengandung setidaknya satu gugus polar dengan atom nitrogen, sulfur, atau oksigen, sebagai situs chemisorption. Kerapatan elektron yang lebih tinggi dalam struktur inhibitor mampu mendorong efektivitas inhibitor dalam pencegahan kerak (Ma *et al.*, 2001).

Mekanisme kerja inhibitor kerak yaitu :

- 1) Inhibitor kerak akan teradsorpsi pada permukaan kristal kerak sehingga dapat menutupi kristal yang kecil dan menghalangi pertumbuhan selanjutnya.
- 2) Bahan kimia dapat dengan mudah mencegah menempelnya suatu partikel-partikel pada permukaan padatan (Suharso *et al.*, 2007).
- 3) Terjadi proses adsorpsi ion atau molekul adsorbat pada permukaan kristal, dan memberikan aksi perlindungan terhadap proses pertumbuhan. Inhibitor dapat berikatan dengan permukaan kristal melalui perpindahan elektron dari senyawa inhibitor ke kristal membentuk ikatan koordinasi (Suharso dan Buhani, 2011).



Gambar 9. Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer hijau (Chauhan *et al.*, 2015).

Gambar 9 menunjukkan mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer hijau, dimana kemampuan penghambatan tergantung pada jumlah tempat adsorpsi, kerapatan muatan, ukuran molekul, berat molekul, dan modus interaksi dengan permukaan logam untuk membentuk kompleks permukaan logam yang stabil (Chauhan *et al.*, 2015).

2.6. Magnesium Karbonat

Magnesium karbonat (MgCO₃) merupakan salah satu senyawa kimia yang terbentuk akibat adanya reaksi antara magnesium dengan gas karbon dioksida dan

membentuk senyawa kompleks $(\text{MgO})_x \cdot (\text{CO}_2)_y \cdot (\text{H}_2\text{O})_z$ yang dikenal dengan hidromagnesit. Senyawa magnesium karbonat memiliki ikatan ion yang terbentuk dari ion positif Mg^{2+} dan CO_3^{2-} bersifat tidak stabil dan akan terurai pada rentang temperatur $250\text{ }^\circ\text{C} - 550\text{ }^\circ\text{C}$ membentuk senyawa magnesium oksida yang stabil (Haurie *et al.*, 2007). Di alam magnesium karbonat berbentuk mineral magnesit sebagai *Proterozoic Crystalline* yang berupa padatan keras akibat peristiwa tektonik dan bersifat stabil (Misch *et al.*, 2018). Magnesit dari alam yang berbentuk *crystalline* memiliki keunggulan yaitu padat dengan densitas yang tinggi sehingga dapat diaplikasikan pada tanur peleburan baja (Dwarapudi *et al.*, 2012).

Selain *Proterozoic crystalline*, magnesium karbonat juga dapat ditemukan di alam yaitu berupa mineral dolomit. Dolomit merupakan mineral yang bersifat rapuh dan mengandung senyawa kalsium dan magnesium karbonat. Senyawa magnesium karbonat yang terdapat di alam, dapat dihasilkan dengan cara melakukan proses karbonasi pada magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) dengan kondisi super kritis di temperatur $50\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan 90 atm (Felmy *et al.*, 2015).



Gambar 10. Endapan kerak magnesium karbonat dalam pipa (Mandela, 2017).

Proses karbonasi yaitu proses penambahan gas karbon dioksida setelah dilakukan tahapan kalsinasi dan proses slaking (hidrasi) pada material yang digunakan. (Adliswarman, 2003; Erlina, 2004; Eko, 2012). Hasil dari proses karbonasi diperoleh magnesium karbonat bersifat *amorf* dan memiliki densitas yang rendah. Pembuatan magnesium karbonat dari bahan alam, seperti dolomit, dapat diproses dengan cara lain yaitu proses pelarutan dengan asam klorida sehingga diperoleh magnesium klorida (Royani, 2018). Selanjutnya, penambahan natrium karbonat

pada magnesium klorida tersebut dapat dilakukan untuk dapat membentuk senyawa magnesium karbonat (Cheng, 2009). Senyawa $MgCO_3$ tersebut berbentuk endapan kerak yang dapat terlihat pada Gambar 10.

2.7. Tanaman Nanas (*Ananas comosus*)

Nanas (*Ananas comosus*) merupakan tanaman buah berupa semak. Tanaman ini dapat hidup dalam berbagai musim dan tergolong ke dalam kelas monokotil yang bersifat tahunan yang mempunyai rangkaian bunga yang terdapat di ujung batang. Tanaman nanas termasuk tanaman xerofit dan mempunyai jalur fotosintesis dengan tipe *Crassulacean Acid Metabolism* (CAM) atau Metabolisme Asam *Crassulaceae*. Bagian utama nanas terdiri dari daun, batang, bunga, buah dan akar. Daun tanaman nanas berurat sejajar dan pada tepinya tumbuh duri yang menghadap ke arah ujung daun. Beberapa kultivar nanas durinya mulai lenyap tetapi duri pada ujung daun masih terlihat (Sunarjono, 2005). Batang tanaman nanas berukuran 20 - 25 cm atau lebih, berdiameter 2,0 - 3,5 cm, beruas pendek, secara visual batang tanaman nanas tidak terlihat karna tertutup oleh daun (Rukmana, 2007).



Gambar 11. Limbah kulit nanas (Anggraini, 2022).

Selain bagian utama terdapat produk hasil olahan industri yang terdiri dari sisa daging buah yaitu kulit nanas. Kulit buah nanas memiliki tekstur yang tidak merata dan berduri pada permukaannya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 11. Limbah kulit nanas yang sudah diolah menjadi ekstrak dimanfaatkan sebagai antiseptik karena mengandung antibakteri. Berdasarkan penelitian yang dilakukan

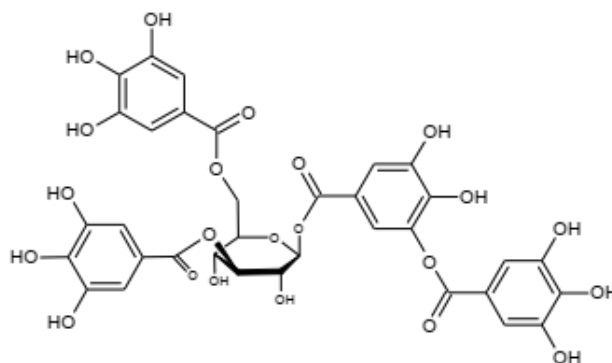
oleh Pranatasari *et al* (2021) ekstrak kulit nanas mengandung senyawa kimia sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan senyawa kimia ekstrak kulit nanas

Komponen	Presentase Kandungan (%)
Saponin	5,29
Tanin	5,12
Flavonoid	3,47
Kuersetin	1,48
Katekin	0,05851
Epikatekin	0,050
Vitamin C	0,03895
Asam galat	0,03176
Asam ferulat	0,01950
Beta karoten	0,005998
Fenol	0,003269
Enzim bromelain	0,05 – 0,0754

(Pranatasari *et al.*, 2021).

Tanin merupakan komponen zat organik yang sangat kompleks, terdiri dari senyawa fenolik yang sukar dipisahkan dan sukar mengkristal, mengendapkan protein dari larutannya dan bersenyawa dengan protein tersebut (Hagerman, 2002). Tanin mempunyai aktivitas biologis sebagai pengkhelat ion logam, antioksidan biologis dan merupakan senyawa antibakteri (Suwandi, 2012). Tanin memiliki sifat kelarutan mudah larut dalam air, alkohol, aseton dengan perbandingan 1:1 dalam gliserol hangat, tidak larut dalam petroleum, kloroform, dan eter (Reynold, 1996). Selain itu tanin memiliki sifat akan rusak pada suhu iatas 80 °C sehingga untuk melakukan ekstraksi tanin yang baik dilakukan pada suhu 60 – 80 °C (Dewi, 2011). Struktur senyawa tanin ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Struktur senyawa tanin (Noer *et al.*, 2018).

2.8. Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2*

Asap cair dapat didefinisikan sebagai cairan kondensat yang telah mengalami penyimpanan untuk memisahkan tar dan bahan-bahan tertentu. Asap cair berwarna kecoklatan dan memiliki bau yang khas (Bridgwater, 2004). Asap cair diperoleh melalui proses pirolisis senyawa organik yang mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Kailaku *et al.*, 2016). Biasanya pembuatan bahan baku dari asap cair terbuat dari bahan kayu, tempurung kelapa, bonggol kelapa sawit, limbah hasil penggergajian kayu dan lainnya (Darmadji, 2002; Haji, 2013). Asap cair digunakan sebagai penambah aroma dan tekstur dalam bidang pangan (Ramakrishnan *and* Moeller, 2002). Selain itu, asap cair dapat digunakan sebagai pengawet kayu, koagulan karet, dan penyerap bau pada kotoran hewan (Kailaku *et al.*, 2016). Asap cair memiliki 3 tingkatan yaitu *grade A*, *grade B*, dan *grade C* dengan fungsi yang berbeda pada tiap tingkatan. Perbedaan asap cair tempurung kelapa *grade 1*, *grade 2* dan *grade 3* ditunjukkan pada Gambar 13. Asap cair tempurung kelapa *grade 2* atau biasa disebut asap air *grade B* memiliki warna yang lebih kekuningan jika dibandingkan dengan asap cair tempurung kelapa *grade 3*, namun sedikit lebih pekat kuningnya dari pada asap cair tempurung kelapa *grade 1* (Yulistiani, 2008).



Gambar 13. Jenis asap cair tempurung kelapa (Anggraini, 2022).

Asap cair *grade 2* merupakan asap cair yang telah melewati tahapan destilasi kemudian dilakukan penyaringan zeolit. Asap cair ini memiliki warna kuning kecoklatan dan diorientasikan untuk pengawetan bahan makanan mentah (Yulistiani, 2008). Asap cair *grade 2* tidak terlalu berbeda dengan *grade 1* untuk kadar fenol, karbonil, dan asamnya. Namun, pada asap cair *grade 2* untuk kadar tar dan benzo(a)pirena sudah tidak ada, hal ini dikarenakan pada saat destilasi dengan suhu 250 °C senyawa benzo(a)pirena dan tar tidak ikut menguap karena titik didih kedua senyawa tersebut berada diatas 250 °C.

2.9. *Seeded Experiment*

Metode *seeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukkan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit kristal dilakukan untuk mendorong terjadinya proses kristalisasi dengan lebih cepat. Adanya area permukaan bibit kristal akan mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal $MgCO_3$ maka kristal magnesium karbonat menjadi lebih besar (Mandela, 2017). Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak magnesium karbonat setelah ditambahkan inhibitor ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan penambahan bibit kristal (*seeded experiment*).

2.10. Analisis dan Karakterisasi Kerak

Penelitian ini akan dilakukan beberapa analisis dan karakterisasi terhadap kerak MgCO_3 yang telah terbentuk. Analisis yang dilakukan yaitu analisis menggunakan FT-IR digunakan untuk mengidentifikasi struktur suatu senyawa dan mengetahui adanya gugus fungsional utama yang terkandung dalam suatu sampel. Analisis GC-MS digunakan untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang ada pada inhibitor campuran. Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dari kerak MgCO_3 . Analisis morfologi permukaan kristal MgCO_3 menggunakan SEM, dan analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA. Analisis dan karakterisasi ini dilakukan untuk dapat mengetahui seberapa efektif campuran inhibitor ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai penghambat pembentukan kerak MgCO_3 .

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai berbagai instrumen yang digunakan untuk analisis dan karakterisasi pada penelitian ini:

1. Spektrofotometri *Infra Red* (IR)

Spektrofotometri IR merupakan metode identifikasi struktur senyawa yang bertujuan untuk mengetahui kandungan gugus fungsional utama dalam senyawa tersebut. Pada spektrofotometri inframerah, setiap gugus fungsi pada suatu senyawa akan menyerap radiasi inframerah pada panjang gelombang karakteristik. Syarat suatu gugus fungsi dalam suatu senyawa dapat teridentifikasi pada spektrofotometer IR adalah adanya perbedaan momen dipol pada gugus tersebut. Sinar inframerah mempunyai energi yang rendah dengan bilangan gelombang antara $600\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ atau sekitar ($1,7 \times 10^{-3}\text{ cm}$ sampai dengan $2,5 \times 10^{-4}\text{ cm}$). Sinar infra merah hanya dapat menyebabkan vibrasi (getaran) pada ikatan baik berupa rentangan (*stretching*) maupun berupa bengkakan (*bending*) (Sitorus, 2009). Energi transisi yang sesuai dengan perubahan keadaan energi vibrasi untuk banyak gugus fungsi terletak di wilayah IR tengah ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) dan karenanya penampilan pita serapan di wilayah ini dapat menjadi digunakan untuk menentukan apakah kelompok fungsional tertentu ada dalam molekul (Mohamed *et al.*, 2017). Nilai

perkiraan daerah serapan FTIR dari beberapa gugus fungsional seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daerah serapan erapan FTIR dari beberapa gugus fungsi

Dearah Spektra (cm^{-1})	Kemungkinan Gugus Fungsi
3750 – 3000	O-H, N-H
3000 – 2900	C-H dari aromatik, alkuna, alkena
3000 – 2700	$\text{C}\equiv\text{N}$, $\text{N}\equiv\text{N}$
2400 – 2100	C=O dari asam karboksilat, aldehid, keton, ester, amida
1900 – 1650	=C=C= dari alifatik, aromatik atau =C=N-

(Pranatasari *et al.*, 2021).

2. *Gas Chromatography - Mass Spectrometry* (GC-MS)

Gas Chromatography (GC) adalah teknik kromatografi yang digunakan untuk memisahkan dan mendeteksi semua jenis senyawa yang mudah menguap dan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif senyawa dalam campuran (Rubaye *et al.*, 2017). Prinsip dasar kromatografi gas adalah pemisahan senyawa-senyawa berdasarkan adanya perbedaan distribusi fasa gerak dan fasa diam (McNair and Bonelli, 1998).

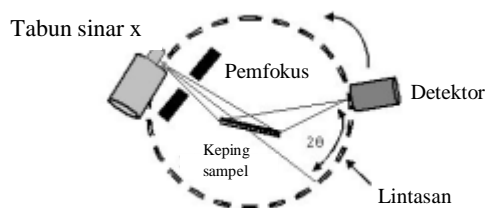
Mass Spectrometry (MS) adalah metode analisis instrumental yang dapat memberikan informasi mengenai struktur senyawa yang komponennya tidak diketahui. Metode ini berfungsi untuk mengidentifikasi dan menentukan struktur suatu sampel, serta menentukan rumus molekul dengan menunjukkan massa relatif dari molekul komponen dan massa relatif hasil pecahannya (Pavia, 2006). Prinsip pengukuran dengan spektrofotometri massa adalah molekul induk dalam bentuk gas ditembak dengan elektron berenergi tinggi sehingga terionisasi menjadi fragmen dengan massa molekul yang lebih kecil.

Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS) merupakan gabungan metode analisis antara kromatografi gas dan spektrofotometer massa yang digunakan untuk mengidentifikasi zat-zat kimia beserta struktur molekul. Ada berbagai prinsip kerja alat GC-MS yaitu *sample preparation*, *injeksi*, *GC separation*, *MS detector*, dan *scanning*. Spektroskopi massa digunakan

sebagai detektor akan memberikan data struktur kimia senyawa yang tidak diketahui. Ketika gas solut memasuki spektroskopi massa maka molekul-molekul organik akan ditembak dengan elektron bertenaga tinggi dan pecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Kemudian komponen campuran yang sudah terpisahkan dengan kromatografi gas akan tergambar dalam satu spektra massa (Hendayana, 2006).

3. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Karakterisasi *X-Ray Diffraction (XRD)* ini merupakan teknik analisis yang berfungsi untuk mengetahui karakteristik kristalografi seperti struktur kristal, ukuran kristal serta fasa kristalin suatu material melalui puncak-puncak intensitas yang muncul (Leofanti, 1997). Analisis menggunakan XRD, kristal memantulkan sinar-X yang dikirimkan dari sumber dan diterima oleh detektor. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan lapisan permukaan kristal, sebagian sinar-X ditransmisikan, diserap, direfleksikan dan sebagian lagi dihamburkan serta didifraksikan. Skema kerja alat XRD ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Skema kerja alat XRD (Warren, 1969).

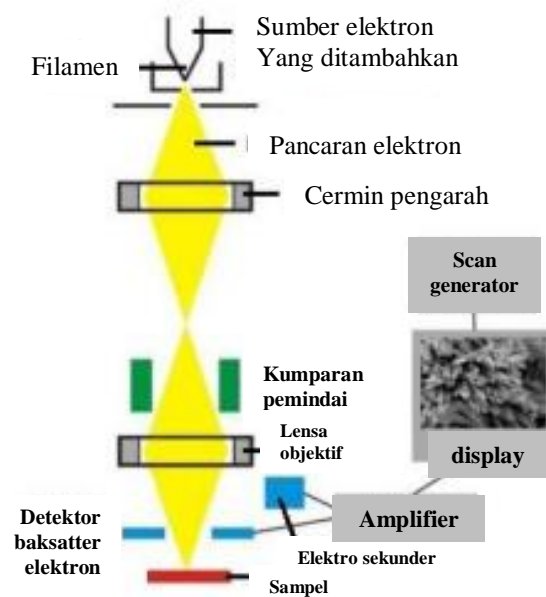
Keberadaan atau terbentuknya kristal dapat diidentifikasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD), karena karakterisasi menggunakan XRD didasarkan pada fakta bahwa pola difraksi sinar-X untuk masing-masing material kristalin adalah karakteristik. Material *amorf* apabila dikenai berkas sinar-X akan dicirikan oleh spektrum yang kontinyu, tidak ada puncak-puncak difraksi pada sudut tertentu sedangkan material kristal, apabila dikenai berkas sinar-X akan dicirikan oleh adanya spektrum yang diskrit pada sudut hamburan tertentu (Susita dan Sujitno, 2008).

Data hasil penyinaran sinar-X yang didapatkan berupa spektrum difraksi sinar-X dideteksi oleh detektor kemudian data difraksi tersebut direkam dan dicatat oleh komputer dalam bentuk grafik peak intensitas lalu dianalisis jarak antara bidang kisi kristalnya dan dibandingkan dengan Hukum Bragg pada komputer dengan menggunakan *software* tertentu sehingga dapat menghasilkan suatu data (Sudarningsih, 2008).

4. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

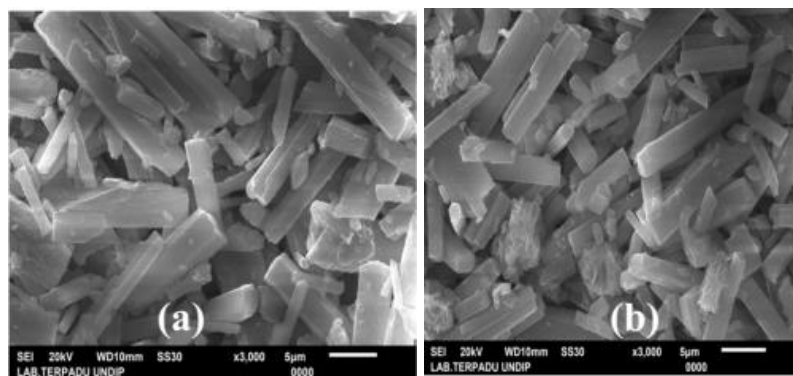
Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan jenis mikroskop yang digunakan untuk mengetahui morfologi suatu material atau bahan dengan cara menggambarkan spesimen tersebut dengan memindainya menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam *scan* pola raster. SEM memanfaatkan interaksi antara elektron sumber dengan elektron penyusun sampel yang akan menghasilkan emisi elektron ataupun foton. Hasil dari interaksi tersebut berupa topografi dengan segala tonjolan dan bentuk permukaan yang akan direkam oleh detektor ataupun layar yang dapat divisualisasikan sehingga dapat menghasilkan morfologi sampel (Sujatno, 2015).

SEM terdiri dari beberapa komponen penting antara lain kolom elektron (*electron column*), ruang sampel (*sample chamber*), sistem pompa vakum (*vacuum pumping system*), kontrol elektron dan sistem bayangan (*imaging system*) (Handayani *et al.*, 1996). Kelebihan menggunakan SEM antara lain material atau sampel dapat dianalisis tanpa preparasi khusus, karena itu sampel yang tebal sekalipun (*bulk*) juga dapat dianalisis (Handayani *et al.*, 1996). Prinsip dasar dari SEM ialah interaksi antara berkas elektron dengan spesimen padatan, seperti digambarkan dalam Gambar 15.



Gambar 15. Skema Instrumentasi SEM (Handayani *et al.*, 1996).

Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal magnesium karbonat (MgCO_3). Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Mandela (2017) hasil morfologi kristal magnesium karbonat (MgCO_3) menggunakan pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Morfologi kerak magnesium karbonat (a) konsentrasi 3000 ppm (b) konsentrasi 4000 ppm (Mandela, 2017).

Gambar (16a) merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi dengan konsentrasi larutan 3000 ppm sedangkan Gambar (16b) merupakan hasil uji kristalisasi pada konsentrasi larutan 4000 ppm. Kedua Gambar tersebut menunjukkan bentuk morfologi yang sama. Variasi konsentrasi 3000 ppm dan

4000 ppm tidak merubah morfologi kristal. Fasa kristal yang terbentuk adalah fasa magnesite yang merupakan jenis fasa *hardscale*. Apabila kristal ini terbentuk dan mengendap di dalam pipa maka akan menghasilkan kerak yang sulit untuk dibersihkan dari suatu sistem perpipaan (Mandela, 2017).

5. *Particel Size Analyzer* (PSA)

Particel Size Analyzer (PSA) merupakan instrumen yang digunakan untuk menganalisis distribusi ukuran partikel pada suatu sampel yang berukuran nanometer. Prinsip instrumen ini yaitu ketika cahaya (laser) dihamburkan oleh kumpulan partikel. Pada analisis menggunakan PSA, sampel serbuk didispersikan ke dalam media, sehingga partikel tidak saling beraglomerasi (menggumpal). Ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari partikel tunggal (*single particle*). Hasil pengukuran adalah berupa distribusi, sehingga kondisi hasil pengukuran sampel yang diambil dapat diasumsikan sudah menggambarkan keseluruhan kondisi sampel (Wada, 2006; Jatmiko, 2019).

Menurut Hossaen (2000), PSA memiliki keunggulan yaitu :

- 1) Akurasi dan reproduksibilitas berada dalam $\pm 1 \%$.
- 2) Dapat mengukur sampel dari 0,02 nm sampai 2000 nm.
- 3) Dapat mengukur distribusi ukuran partikel yang berupa emulsi, suspensi, dan bubuk kering.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

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

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas, termometer, gelas-gelas plastik, spinbar, *water bath* merek Thermoscientific AC 200/S21 dibuat di United Kingdom, pengaduk magnet merek Stuart CB 162 dibuat di China, oven merek Innotech dibuat China, neraca analitik merek Airshwoth AA-160 dari Jepang, pH meter merek Methrom 827 dari Swiss, *rotary evaporator* dibuat di China, spektrofotometer IR merek Cary 630 Agilent di buat di California, *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS) merek

Shimadzu GC2010 MSQP 2010S dibuat di Jerman, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merek Zeiss evo MA10 dibuat di Kanada, *Particle Size Analyzer* (PSA) merek Coulter LS 13320 dibuat di United States, dan *X-Ray Diffraction* (X-RD) merek Philip Analytical dibuat di Belanda.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $MgCl_2$ anhidrat, $NaHCO_3$, bibit kristal, akuades, ekstrak kulit nanas, asap cair tempurung kelapa *grade 2*, dan kertas saring.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Pembuatan Inhibitor dari Ekstrak Kulit Buah Nanas dengan Variasi Konsentrasi Berbeda

Ekstrak kulit buah nanas dapat dibuat dengan cara kulit buah nanas dibersihkan dan dipotong kecil-kecil kemudian dikeringkan menggunakan oven selama 3-4 jam dengan suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk memperoleh kulit nanas yang benar-benar kering. Kemudian kulit nanas yang sudah kering tersebut digiling untuk menghasilkan serbuk kulit nanas. Selanjutnya, ditimbang 100 gram kulit nanas dan ditambahkan dengan akuades sebanyak 1000 mL dalam gelas kimia, kemudian diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet selama 2-3 jam dengan suhu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ kemudian didiamkan selama 24 jam dan larutan disaring menggunakan kertas saring, sisa hasil penyaringan tersebut dilakukan remaserasi kembali.

Filtrat yang diperoleh kemudian diuapkan menggunakan *rotary evaporator* sampai terbentuk larutan yang pekat. Setelah itu, dilarutkan 1 gram atau setara dengan 0,79 mL larutan pekat dalam 1000 mL akuades untuk membuat larutan induk inhibitor dengan konsentrasi 1000 ppm. Kemudian larutan induk tersebut diencerkan untuk membuat larutan inhibitor dengan variasi konsentrasi 100, 200, 300, dan 400 ppm. Pada pembuatan larutan induk 100 ppm dilakukan dengan cara mengencerkan 100 mL ekstrak kulit buah nanas dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, lalu dihomogenkan. Perlakuan yang sama

dilakukan untuk membuat larutan dengan konsentrasi 200, 300, dan 400 ppm. Diukur nilai keasamannya menggunakan pH meter. Kemudian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam ekstrak kulit buah nanas dilakukan analisis menggunakan spektrofotometri IR dan untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terkandung di dalam ekstrak kulit buah nanas dilakukan pula analisis menggunakan spektrofotometri GC-MS.

3.3.2. Pembuatan Inhibitor dari Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2*

Pada penelitian ini asap cair tempurung kelapa *grade 2* diperoleh dari hasil produksi asap cair yang terletak di Nunyai, Lampung Tengah. Larutan induk asap cair 1000 ppm dibuat dengan melarutkan 1 g asap cair atau setara dengan 0,96 mL dalam dalam gelas kimia hingga volume 1000 mL akuades. Kemudian dibuat larutan inhibitor asap cair konsentrasi 300 ppm dengan mengencerkan 300 mL asap cair tempurung kelapa *grade 2* dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda batas, lalu dihomogenkan. Selanjutnya nilai keasamannya diukur menggunakan pH meter. Kemudian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam asap cair tempurung kelapa *grade 2* dilakukan analisis menggunakan spektrofotometri IR dan untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terdapat di dalam asap cair tempurung kelapa *grade 2* dilakukan pula analisis menggunakan GC-MS.

3.3.3. Pembuatan Inhibitor dari Campuran Ekstrak Kulit Buah Nanas dan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2*

Larutan inhibitor dibuat dengan cara mencampurkan 300 mL asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan 300 mL ekstrak kulit nanas dengan variasi perbandingan berbeda, dimana konsentrasi asap cair tempurung kelapa *grade 2* dibuat tetap seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dan disaring menggunakan kertas saring agar kotoran yang terdapat pada campuran hilang, dan selanjutnya

campuran inhibitor tersebut diukur derajat keasamannya dengan menggunakan pH meter dan disimpan dalam botol tertutup. Setiap perbandingan campuran ini diuji efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan kristal $MgCO_3$. Setelah didapatkan efektivitasnya, perbandingan konsentrasi campuran yang memiliki efektivitas terbesar digunakan sebagai inhibitor kerak $MgCO_3$ pada penelitian ini.

Tabel 3. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak kulit nanas (N) dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* (A).

Perbandingan Inhibitor N : A	Konsentrasi Ekstrak Kulit Nanas (ppm)	Konsentrasi Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> (ppm)
1 : 3	100	300
2 : 3	200	300
3 : 3	300	300
4 : 3	400	300

3.3.4. Uji Ketahanan Inhibitor

Uji ketahanan inhibitor dilakukan pada larutan ekstrak kulit nanas 1000 ppm dan campuran dari ekstrak kulit nanas dengan asap cair tempurung kepala *grade 2* dengan perbandingan 4 : 3. Sebanyak 50 mL inhibitor ekstrak kulit nanas 1000 ppm dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL lalu ditutup dengan plastik *wrap*. Kemudian larutan tersebut didiamkan selama 2 bulan dan diamati perubahan yang terjadi. Ulangi prosedur pengujian pada campuran ekstrak kulit nanas dengan asap cair tempurung kepala *grade 2* dengan perbandingan 4 : 3.

3.3.5. Pembuatan Bibit Kristal

Bibit kristal dibuat dari $MgCl_2$ 23,75 g yang dilarutkan dalam akuades dengan volume total 250 mL kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirer* pada suhu 60 °C selama 15 menit dan $NaHCO_3$ 21 g dilarutkan dalam akuades dengan volume total 250 mL kemudian diaduk dengan *magnetic stirer* pada suhu 60 °C selama 15 menit. Larutan $NaHCO_3$ dan $MgCl_2$ dicampurkan serta diaduk dengan *magnetic stirer* pada suhu 60 °C hingga mengendap sempurna. Kemudian endapan

dipisahkan dengan kertas saring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam.

3.3.6. Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal MgCO₃

Pengujian ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor dalam menghambat kristal MgCO₃ dengan metode *seeded* dilakukan dengan beberapa tahapan percobaan yaitu sebagai berikut.

1. Penentuan laju pertumbuhan MgCO₃ tanpa penambahan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan yang berbeda dengan metode *seeded experiment*.

Larutan pertumbuhan MgCO₃ dibuat dengan cara melarutkan 0,200 M MgCl₂ anhidrat dan larutan 0,200 M NaHCO₃ yang masing-masing dilarutkan ke dalam 200 mL akuades. Kemudian masing-masing larutan tersebut dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 10-15 menit dengan suhu sekitar 60-70 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan MgCl₂ anhidrat 0,200 M dan larutan NaHCO₃ 0,200 M dicampurkan dan diaduk lagi menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60 °C agar larutan pertumbuhan MgCO₃ dengan konsentrasi 0,100 M dapat terbentuk dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter, kemudian larutan tersebut dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang masing-masing berisi 50 mL larutan pertumbuhan, ditambahkan 0,2 g bibit kristal, dan diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 60 °C.

Pengamatan dapat dilakukan saat 15 menit pertama satu gelas diambil karena sudah mencapai kesetimbangan, kemudian diambil gelas berikutnya lagi setiap 10 menit sekali sampai pada gelas yang terakhir. Selanjutnya, larutan dalam gelas tersebut disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi larutan MgCl₂ dan NaHCO₃ sebesar 0,300; 0,400; dan 0,500 M untuk mendapatkan larutan pertumbuhan kerak MgCO₃ sebesar 0,150; 0,200; dan 0,2500 M.

2. Penentuan laju pertumbuhan $MgCO_3$ dengan penambahan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan yang berbeda dengan metode *seeded experiment*.

Larutan pertumbuhan $MgCO_3$ dengan penambahan inhibitor dibuat dengan cara melarutkan 0,200 M $MgCl_2$ anhidrat dan larutan 0,200 M $NaHCO_3$ yang masing-masing dilarutkan ke dalam 200 mL campuran ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* yang sebelumnya sudah dibuat dengan perbandingan 1:3. Kemudian masing-masing larutan pertumbuhan tersebut dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 10-15 menit dengan suhu sekitar 60-70 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan $MgCl_2$ anhidrat 0,200 M dan larutan $NaHCO_3$ 0,200 M dicampurkan dan diaduk lagi menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60 °C agar larutan pertumbuhan $MgCO_3$ dengan konsentrasi 0,100 M dapat terbentuk dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter, kemudian larutan tersebut dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik yang masing-masing berisi 50 mL larutan pertumbuhan dengan inhibitor, ditambahkan 0,2 g bibit kristal, dan diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 60 °C

Pengamatan dapat dilakukan saat 15 menit pertama satu gelas diambil karena sudah mencapai kesetimbangan, kemudian diambil gelas berikutnya lagi setiap 10 menit sekali sampai pada gelas yang terakhir. Selanjutnya, larutan dalam gelas tersebut disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan $MgCl_2$ dan $NaHCO_3$ sebesar 0,300; 0,400; dan 0,500 M serta variasi konsentrasi campuran inhibitor dengan perbandingan 1:3, 2:3, 3:3, dan 4:3 untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak $MgCO_3$ dengan inhibitor sebesar 0,150; 0,200; dan 0,2500 M.

3.4. Analisis Data

Data yang dianalisis diperoleh berdasarkan jumlah kristal MgCO_3 yang terbentuk terhadap waktu baik tanpa menggunakan inhibitor maupun menggunakan inhibitor dengan adanya variasi konsentrasi larutan pertumbuhan MgCO_3 dan variasi konsentrasi inhibitor yang masing-masing diplot sebagai jumlah massa kristal MgCO_3 yang terbentuk terhadap waktu laju pertumbuhan kristal MgCO_3 menggunakan *Microsoft Excel*. Data yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk mengetahui efektivitas inhibitor campuran ekstrak kulit nanas dalam menghambat laju pertumbuhan kerak MgCO_3 dengan menggunakan Persamaan 1 (Suharso *et al.*, 2019).

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

Dimana :

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

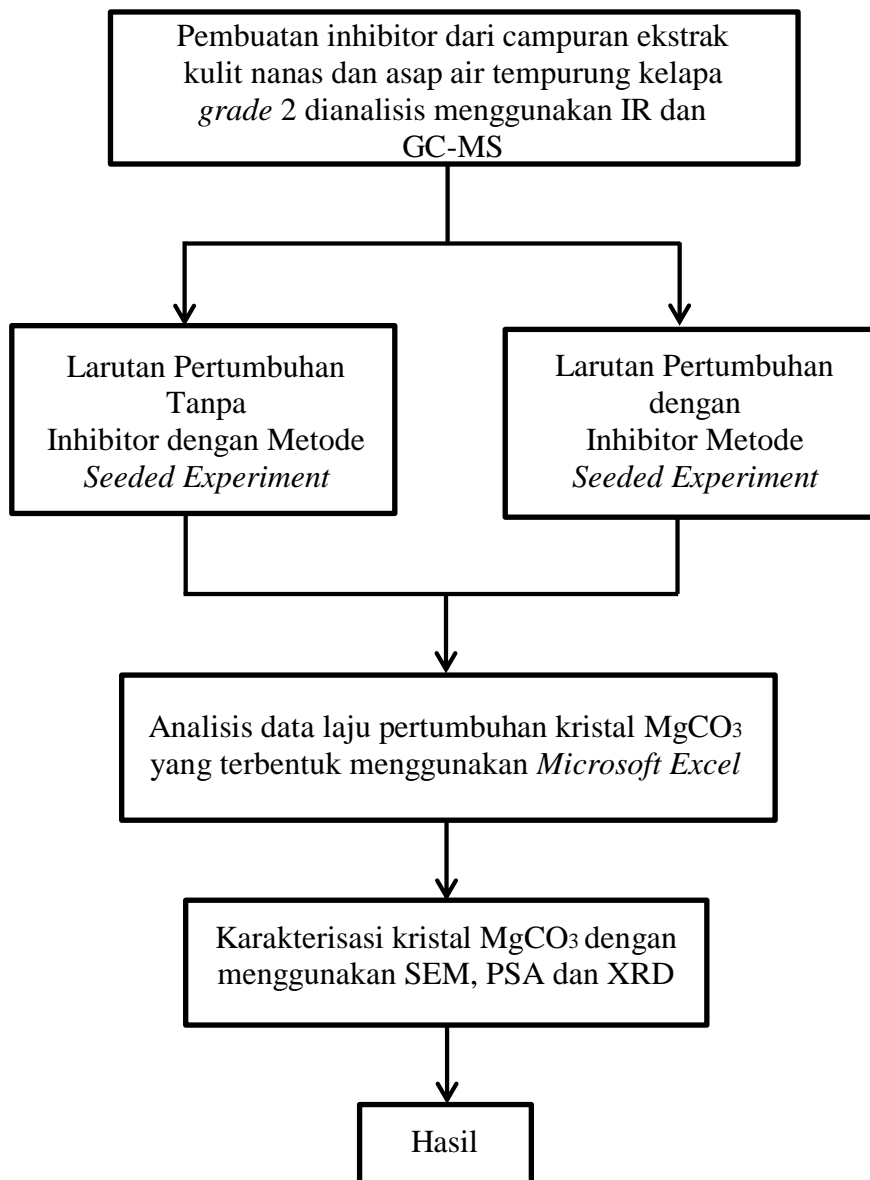
C_b = berat endapan tanpa penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

C_0 = berat endapan awal (g/L)

Analisis morfologi kerak MgCO_3 sebelum dan sesudah ditambahkan inhibitor menggunakan SEM. Analisis perubahan ukuran partikel dari kelimpahan kerak MgCO_3 sebelum dan sesudah ditambahkan inhibitor menggunakan PSA. Struktur kristal MgCO_3 sebelum dan sesudah ditambahkan inhibitor dianalisis menggunakan XRD.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Secara menyeluruh alur penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

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

1. Campuran inhibitor ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade* 2 dapat digunakan sebagai inhibitor yang ramah lingkungan untuk menghambat pertumbuhan kerak MgCO_3 yang ditunjukkan dengan menurunnya laju pertumbuhan, morfologi, struktur dan berkurangnya ukuran partikel kerak MgCO_3 setelah ditambahkan inhibitor.
2. Persentase efektivitas perbandingan campuran inhibitor tertinggi yaitu pada perbandingan NA 4:3 pada larutan pertumbuhan 0,100 M dengan konsentrasi 150 ppm sebesar 59,14 %.
3. Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kerak MgCO_3 mengalami penurunan yang signifikan dilihat dari nilai rata-rata turun sebesar 7,03 μm dan nilai tengah turun sebesar 3,14 μm setelah penambahan inhibitor NA 4:3.
4. Analisis permukaan kerak MgCO_3 menggunakan SEM menunjukkan bahwa terjadi perubahan morfologi permukaan kerak sebelum penambahan inhibitor yang berberupa lempengan dan menyatu membentuk butiran menjadi lembaran tipis dan kecil.

5. Analisis struktur kristal MgCO_3 menggunakan XRD menunjukkan bahwa terjadi kerusakan struktur kristal yang ditandai dengan terjadinya penurunan intensitas di beberapa puncak difraksi 2θ .

5.2. Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak MgCO_3 dengan menggunakan variasi inhibitor yang lain dikarenakan persentase efektivitas inhibitor yang diperoleh pada penelitian ini tidak terlalu tinggi. Inhibitor yang dapat digunakan seperti ekstrak gambir, kemenyan, dan belimbing wuluh yang pada penelti sebelumnya memiliki persentase menginhibisi cukup tinggi.
2. Menggunakan konsentrasi kerak yang lebih kecil dibawah 0,1M agar mempermudah melihat perbedaan morfologi kerak MgCO_3 pada analisis SEM.

DAFTAR PUSTAKA

- Addicott, J. F., Aho, J. M., Antolin, M. F., Padilla, D. K., Richardson, J. S., and Soluk, D. A. 1987. *Ecological Neighborhoods: Scaling Environmental Patterns*. Oikos. Pp. 340-346.
- Anggraini, P. A. 2022. *Studi Penambahan Campuran Ekstrak Kulit Nanas (Ananas Comosus) dan Asap Cair Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃) Menggunakan Metode Unseeded Experiment*. Skripsi. FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Aprian, R. D. 2022. *Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat (MgCO₃)*. Tesis. FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Asnawati. 2001. *Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak*. *Jurnal Ilmu Dasar*. 2 (1): 20-26.
- Bhatia, A. 2003. *Cooling Water Problems and Solutions*. Continuing Education and Development. Inc. 9 Greyridge Farm Court Stony Point. New York. Pp.5-9.
- Bridgwater, A. V. 2004. *Biomass Fast Pyrolysis*. *Thermal Science*. 8 (2): 21-49.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A., and King, G. 1999. *Fighting Scale-Removal and Prevention*. *Oilfield*. 11: 30-45.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G.S. 2015. *Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits*. *Mineral Scale and Deposits*. Pp. 701-720.
- Darmadji, P. 1996. *Aktivitas Anti Bakteri Asap Cair Yang Diproduksi Dari Berbagai Macam Limbah Pertanian*. *Agritech*. 16 (4): 19 – 22.
- Darmadji, P. 2002. *Optimasi Pemurnian Asap Cair dengan Metode Redistilasi*. *Teknologi dan Industri Pangan*. 12 (3).
- Dewi and Ali. 2003. *Kinetic Study of Electrocrystalization on Calcium Carbonate on Metallic Substrates*. *Journal of Crystal Growth*. 291: 428-435.

- Dewi, R. 2011. *Uji Kualitatif dan Kuantitatif Tanin pada Kulit Batang dan Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa blimbi L.) Secara Spektrofotometri Menggunakan Pereaksi Biru Prusia*. Tesis Farmasi Universitas Surabaya. Surabaya.
- Dwarapudi S., Ghosh T. K., Tathavadkar V., Denys M. B., Bhattacharje E. D., and Venugopal R. 2012. Effect Of MgO in the Form of Magnesite on the Quality and Microstructure Of Hematite Pellets. *International Journal of Mineral Processing*. 112–113 (4): 55–62.
- Eko S. 2012. *Pembuatan Nano Magnesium Karbonat Hasil Ekstraksi Mineral Dolomit dengan Gelombang Ultrasonic*. Tesis Magister Bidang Ilmu Material, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Erlina Y. 2004. *Ekstraksi Calcite dan Hydromagnesite Dalam Dolomit Secara Hidrasi dan Karbonisasi*. Tesis Magister Bidang Ilmu Material, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Felmy, A. R., Qafoku O., Arey, B. W., Kovarik, L., Liu J., Perea, D., and Ilton, E. S. 2015. Enhancing magnesite formation at low temperature and high CO₂ pressure: The impact of seed crystals and minor components. *Chemical Geology*. 395: 119-125.
- Hagerman, A. E. 2002. *Tanin Handbook*. Department of Chemistry and Biochemistry. Miami University. Amerika Serikat.
- Haji, A. G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9(3).
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*. FMIPA-USU. Medan.
- Han, Y. S., Hadiko, G., Fuji, M., and Takahashi, M. 2005. Effect of flow rate and CO₂ content on the phase and morphology of CaCO₃ prepared by bubbling method. *Journal of Crystal Growth*. 276 (3): 541-548.
- Handayani, A., Sumaryo, dan Sitompul, A. S. 1996. *Teknik Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM-EDAX*. Makalah Kunjungan dan Demo PTBIN BATAN. Serpong.
- Hasson, D. and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. 46:7-104.
- Haurie, L., Fernandez, A. I., Velasco, J. I., Chimenos, J. M., Lopez, C. J. M., and Espiell, F. 2007. Effects of Milling on the Thermal Stability of Synthetic Hydromagnesite. *Materials Research Bulletin*, 42 (6), 1010–1018.

- Hendayana, S. 2006. *Kimia Pemisahan Metode Kromatografi dan Elektroforesis Modern*. PT. Remaja Rosdakarya. Bandung.
- Hossaeen, A. 2000. *Particle Size Analyzer*. King Fahd Petroleum and Mineral. Arab Saudi. p. 83.
- 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.
- Jatmiko, W. A., 2019. *Pengaruh Rasio Jumlah dan Diameter Bola Baja Dalam Proses sintesis Material dengan Shaker Milling Terhadap Ukuran Partikel Kaolin*. Skripsi. Program Sarjana Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Kailaku, S., Syakir, M., Mulyawanti, I., and Syah, A. 2016. Antimicrobial activity of coconut shell liquid smoke. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 206.
- Kemmer, F. N. 1979. The Nalco Water Hand Book. *Nalco Chemical Co. Mc Graw Hill Book CO*. New York. 20: 1-19
- Kragh L. G., Sanderson, W. G., and Sumner, R. B. 1981. *Waste Heat Disposal Process*. Patent No. US 4299786 A.
- Kurniawan, Y. H. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) menggunakan Metode Unseeded Experiment. Skripsi. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung
- Leofanti, G. 1997. Catalyst Characterization. *Applications Catalysis*. 34: 329-352.
- Lestari, D. E., Sunaryo, G. R., Yulianto, Y. E., Alibasyah, S., dan Utomo, S. B. 2004. *Kimia Air Reaktor Riset G. A. Siwabessy*. Makalah Penelitian P2TRR dan P2TKN BATAN. Serpong.
- Lestari, D. E. 2008. *Kimia Air, Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Riset*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN. Serpong.
- Ma, H., Chen, S., Zhao, S., Liu, X., and Li, D. 2001. A Study of Corrosion Behavior of Copper in Acidic Solutions Containing Cetyltrimethylammoniumbromide. *Electrochem Journal*. 148: 482-488.
- Mardalena, Warli, L., Nurdin, E., Rusmana, W. S. N. and Farizal. 2011. *Milk Quality of Dairy Goat By Giving Feed Supplement as Antioxidant Source*. Faculty of Animal Husbandry. Andalas University. Padang.

- McNair, H. M. dan Bonelli, E. J. 1998. *Dasar Kromatografi Gas, Diterjemahkan Oleh Padmawinata*. ITB Press. Bandung. Hlm. 173.
- Misch, D., Pluch, H., Mali, H., Ebner, F., and Hui, H. 2018. Genesis of Giant Early Proterozoic Magnesite and Related Talc Deposits in the Mafeng Area, Liaoning Province, NE China. *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Mohamed, M. A., Jaafar, J., Ismail, A. F., Othman, M. H. D., Rahman, M. A. 2017. *Chapter 1 - Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy*. University Teknologi Malaysia, Johor Bahru. Malaysia.
- Noer, S., Pratiwi, R. D., dan Gresinta, E. 2018. Penetapan Kadar Senyawa Fitokimia (Tanin, Saponin dan Flavonoid sebagai Kuersetin) pada Ekstrak Daun Inggu (*Ruta angustifolia L.*). *Jurnal Ilmu-ilmu MIPA*. ISSN. 2503-2364.
- Nugraha, M. S. 2021. *Studi Penambahan Limbah Cair Tempe Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃) Menggunakan Metode Seeded Experiment*. Skripsi FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Nunn, R. G. 1997. *Water Treatment Essentials for Boiler Plant Operation*. McGraw Hill. New York. Capillary Zone Electrophoresis. Elsevier B.V. *Journal of Chromatography A*. 934: 113-122.
- Patton, C. 1981. *Oilfield Water System*. 2nd Edition. Cambridge Petroleum Series. Oklahoma. 49-79.
- Pavia, D. L. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques*. 4th ed. Brooks Cole/Thomson. United State. 990.
- Pertiwi, A. U. 2018. *Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO₄) Menggunakan Metode Seeded Experiment*. Skripsi FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Pranatasari, D., Rido, F. M., Budi, P. W., dan Wida, W. M. 2021. Daya Antelmintik Serbuk Kulit Nanas (*Ananas comosus*) terhadap Cacing *Haemonchus contortus* pada Domba. *Jurnal Sain Veteriner*. 39 (3): 250-255.
- Pundir, R.K. and Jain, P. 2010. Screening for antifungal activity of commercially available chemical food preservatives. *International Journal of Pharmaceutical Science Review and Research*. 5(2). 25-27.
- Rahmadan, S. 2021. *Analisis Pengaruh Tanin Ekstrak Kulit Rambutan Terhadap Scale pada Flowline Sumur Migas*. Skripsi. Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau. Riau.
- Ramakrishnan, S. and Moeller, P. 2002. Liquid Smoke: Product of Hardwood Pyrolysis. *Fuel Chemistry Division Preprints*. 47 (1): 366.

- Rasyid, M. 2006. *Kimia Organik I*. Universitas Negeri Makassar. Makassar.
- Reynolds, J. E. 1996. *Martindale The Extra Pharmacopeia*. The Pharmaceutical Press. London. 1757.
- 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.
- Rukmana, R. 2007. *Nanas : Budidaya dan Pasca Panen*. Kanisius, Yogyakarta.
- Salimin, Z. dan Gunandjar. 2007. *Penggunaan EDTA sebagai Pencegah Timbulnya Kerak pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair*. Prosiding PPI – PDIPTN. Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN. Yogyakarta.
- Sari, R. P. 2011. *Studi Penanggulangan Problem Scale dari Near-Wellbore hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*. Fakultas Teknik UI. Depok
- Setiosari, E. 2018. *Studi Penggunaan Asap Cair sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃) menggunakan Metode Seeded Experiment*. Skripsi FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Sitorus, M. 2009. *Spektroskopi (Elusidasi Struktur Molekul Organik)*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 78.
- Smallman, R. E. dan Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Edisi Keenam. Diterjemahkan oleh Djaprie, S. Erlangga. Jakarta. Hlm. 473.
- Sudarningsih. 2008. Penggunaan Metoda Difraksi Sinar X dalam Menganalisa Kandungan Mineral Pada Batuan Ultra Basa Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika FLUX*. 5 (2).
- Suharso. 2003. Investigation of the Crystallization of Sodium Borate. *Student Seminar Day*. Curtin University of Technology.
- Suharso. 2004. Effect of Sodium Lauryl Sulphate (SLS) on Growth Rate and Morphology of Borax Crystals. *Jurnal Sains & Teknologi*. 10(3): 165-172.
- Suharso. 2007. Effect of Sodium Dodecylbenzenesulfonic Acid (SDBS) on the Growth Rate and Morphology of Borax Crystal. *Indonesian Journal of Chemistry*. 7(1): 5-9.

- Suharso. 2009. In Situ Measurement of the Growth Rate of the (111) Face of Borax Single Crystal. *Jurnal Matematika & Sains*. 10 (3):101-106.
- Suharso. 2009a. Ex Situ Investigation of Surface Topography of Borax Crystals by AFM: Relation Between Growth Hillocks and Supersaturation Interpreted by Spiral Growth Theory. *Jurnal Matematika & Sains*. Vol 11(4). Pp: 140-145.
- Suharso. 2010. Growth of the (001) Face of Borax Crystals. *Indonesian Journal of Chemistry*. 5 (2):98-100.
- Suharso. 2010a. Characterization of Surface of the (010) Face of Borax Crystals Using Ex Situ Atomic Force Microscopy (AFM). *Indonesian Journal of Chemistry*. 5 (3):274-277.
- Suharso. 2010b. Mechanism of Borax Crystallization Using Conductivity Method. *Indonesian Journal of Chemistry*. 8 (3):327-330.
- Suharso. 2012. Characterization of Surface of the (100) Face of Borax Crystals Using Atomic Force Microscopy (AFM): Dislocation Source Structure and Growth Hillocks. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 3 (2).
- Suharso. 2012a. Ex Situ Investigation of the Hollow Cores on the Surface Topography of the (100) Face of Borax Crystals by Atomic Force Microscopy (AFM). *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 4 (1).
- Suharso, Parkinson, G., and Ogden, M. 2002. The Mechanism of Borax Crystallization Using in Situ Optical Microscopy and AFM. *ACEM17. Australian Conference on Electron Microscopy*. 116:90.
- Suharso, Parkinson, G., and Ogden, M. 2004. Growth Rate Dispersion (GRD) of the (010) Face of Borax Crystals in Flowing Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 4 (3):145-148.
- Suharso, Buhani, Suhartati, T., dan Aprilia L. 2007. *Sintesis C- Metil-4,10,16,22 Tetrametoksi Kaliks[4]Arena dan Peranannya sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)*. Laporan Akhir Program Insentif. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, Suhartati, T., dan Aprilia, L. 2007a. *Sintesis C-Metil-4, 10, 16, 22-Tetrametoksi Kaliks [4] Arena dan Peranannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)*. Laporan Akhir Program Insentif. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, Parkinson, G., and Ogden, M. 2008. AFM investigation of Borax (100) Face: Two-Dimensional Nucleation Growth. *Advances in Natural and Applied Sciences*. 2 (3):135-141.

- 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 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, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix[4]arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. 26 (18):6155.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulangan Kerak Edisi 2*. Graha Ilmu. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, Yuwono, S. D., and Tugiyono. 2017a. Inhibition of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment*. 68:32-39.
- Suharso, Reno, T., Endaryanto, T., and Buhani. 2017b. Modification of Gambier Extracs as Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering*. 18:1-6.
- Suharso, Eka, S., Agung A. K., Buhani., and Heri, S. 2019. Liquid Smoke of Coconut Shell as Green Inhibitor of Calcium Carbonate Scale Formation. *Desalination and Water Treatment*. 169: 29-37.
- Sujatno, A. 2015. Studi Scanning electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM). Batan.
- Sunarjono, H. 2005. *Sirsak dan Srikaya, Budidaya Untuk Menghasilkan Buah Prima*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Susita, L. dan Sujitno, T. 2008. *Analisa Struktur Kristal Lapisan Tipis Aluminium Pada Substrat Kaca Menggunakan XRD*. Pusat Teknologi Akselerator Dan Proses Bahan. 10, pp.133-138.
- Suwandi, T. 2012. *Pengembangan Potensi Antibakteri Kelopak Bunga Hibiscus Sabdariffa L. (Rosela) Terhadap Sterptococcus Sanguinis Penginduksi Gingivitis Menuju Obat Herbal Terstandar*. Disertasi, Program Doktor Ilmu Kedokteran Gigi. Universitas Indonesia.

- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Alih Bahasa Oleh L. Setiono dan A.H pudjaatmaka. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Wada, Y., Totoki, S., Watanabe, M., and Naoji, M. 2006. Nanoparticle Size Analysis with Relaxation of Induced Grating by Dielectrophoresis, *Opt. Express*. 14: 5755-5764.
- Wafiroh, S. 1995. *Pemurnian Garam Rakyat dengan Kristalisasi Bertingkat. Laporan Penelitian*. Universitas Airlangga. Surabaya
- Wang, R., Wan, G., Yan, Y., Sabeghi, M., Ming, Z., Allen, J.K., and Mistree, F. 2019. Ontology-Based Representation of Meta-Design in Designing Decision Workflows.. *Journal of computing and Information science in Engineering*. 18 (1): 011001.
- Warren, E. 1969. *X-Ray Diffraction, Addittion-wesley pub*. Messach.
- Wenting, C., Zhibao L., and Demopoulos, G. P. 2009. Effects of Temperature on the Preparation of Magnesium Carbonate Hydrate by Reaction of $MgCl_2$ with Na_2CO_3 . *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 17 (4): 661-666.
- Wu, W., Gengsheng, X., Yuanshan, Y., Yujuan, X., Jijun W., Jian, P., and Lu Li. 2021. Effects of High Pressure and Thermal Processing on Quality Properties and Volatile Compounds of Pineapple Fruit Juice. *Food Control*. 130. 108293.
- Yeragamreddy, P. R., Peraman, R., Chilamakuru, N. B., and Routhu, H. 2013. In Vitro Antitubercular And Antibacterial Activities of Isolated Constituents and Column Fractions From Leaves of *Cassia Occidentalis*, *Camellia Sinensis* and *Ananas Comosus*. *African Journal of Pharmacology and Therapeutics*. 2 (4).
- Zeiher, E. H. K., Bosco, H., and Williams, K. D. 2003. Novel Antiscalant Dosing Control. Elsevier Science B. V. *Desalination*. 157 : 209-216.
- Zhou, D., Qiang, L., Caie, W., Tingting, L., and Kang, T. 2021. Characterization of Soluble Sugars, Glycosidically Bound and Free Volatiles in Fresh-Cut Pineapple Stored at Different Temperature. *Food Bioscience*. 43. 101329