

**PENGARUH PENGGUNAAN CAMPURAN EKSTRAK GAMBIR
DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI INHIBITOR
PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$)**

(Tesis)

Oleh

**RESTU DWI APRIAN
NPM 2027011004**



**MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

PENGARUH PENGGUNAAN CAMPURAN EKSTRAK GAMBIR DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM KARBONAT ($MgCO_3$)

Oleh

RESTU DWI APRIAN

Pembentukan kerak dapat menimbulkan masalah yang cukup serius di bidang industri, terutama industri minyak dan gas. Oleh karena itu, dalam penelitian ini telah dilakukan penambahan inhibitor campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* (GA) untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh kerak tersebut.

Pada penelitian ini telah dilakukan penambahan inhibitor terhadap kerak magnesium karbonat ($MgCO_3$) dengan menggunakan metode tanpa penambahan bibit kristal (*unseeded experiment*) dan dengan penambahan bibit kristal (*seeded experiment*). Larutan pertumbuhan $MgCO_3$ yang digunakan sebesar 0,050, 0,075, dan 0,100 M diinteraksikan dengan inhibitor campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* (GA) dengan variasi konsentrasi. Efektifitas tertinggi terjadi pada konsentrasi larutan pertumbuhan $MgCO_3$ 0,050 M dan perbandingan konsentrasi inhibitor GA (5:9) menggunakan metode *unseeded experiment* yaitu sebesar 95,41%.

Analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kerak $MgCO_3$ menjadi lebih kecil dengan adanya penambahan inhibitor. Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa morfologi permukaan kerak $MgCO_3$ dengan penambahan inhibitor berubah menjadi lembaran tipis dan kecil dibandingkan dengan tanpa penambahan inhibitor yang berupa butiran. Analisis struktur kristal $MgCO_3$ dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan perbedaan intensitas dengan penambahan inhibitor.

Kata Kunci : $MgCO_3$, inhibitor, ekstrak gambir, asap cair tempurung kelapa.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF MIXTURE FROM GAMBIER EXTRACT AND LIQUID SMOKE OF COCONUT SHELL AS INHIBITOR OF MAGNESIUM CARBONATE (MgCO₃) SCALE FORMATION

By

RESTU DWI APRIAN

Scale formation is a serious problem in many industries, especially in oil and gas industries. Therefore, this research focused on adding the gambier extract and liquid smoke of coconut shell grade 2 (GA) mixture as an inhibitor to reduce the negative effects of the scale formation.

In this research, inhibitor was added to MgCO₃ growth solution by using the unseeded experiment and seeded experiment method at a concentration of MgCO₃ amounted to 0.050, 0.075, and 0.100 M as well as variations in concentration of the gambier extract and liquid smoke of coconut shell grade 2 mixture (GA). The highest effectiveness occurred at a concentration of 0.050 M MgCO₃ growth solution and a comparison of GA inhibitor concentration (5:9) using the unseeded experiment method of 95.41%.

Particle Size Analyzer (PSA) analysis used in this research shows that the particle size distribution MgCO₃ scale becomes smaller with the addition of inhibitors. Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis used in this research shows that adding the inhibitor has made the morphology of the surface of the scale become thin and small sheets compared to the ones without the inhibitor. MgCO₃ crystal structure analysis with X-Ray Diffraction (XRD) showed differences in intensity with the addition of inhibitors.

Keywords : MgCO₃, inhibitor, gambier extract, liquid smoke of coconut shell.

**PENGARUH PENGGUNAAN CAMPURAN EKSTRAK GAMBIR
DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI INHIBITOR
PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM KARBONAT (MgCO₃)**

Oleh

RESTU DWI APRIAN

Tesis

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

Pada

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



**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Penelitian : **PENGARUH PENGGUNAAN CAMPURAN EKSTRAK GAMBIR DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI INHIBITOR PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM KARBONAT (MgCO₃)**

Nama Mahasiswa : **Restu Dwi Aprian**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2027011004

Program Studi : Magister Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

I. Komisi Pembimbing

Prof. Suharso, Ph.D.
NIP. 19690530 199512 1 001

Prof. Dr. Buhani, M.Si.
NIP. 19690416 199403 2 003

II. Ketua Program Studi Magister Kimia

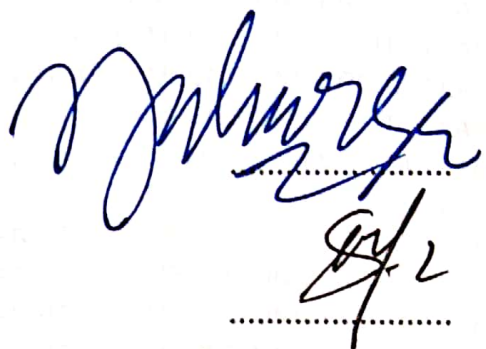


Dr. Nurhasanah, M.Si
NIP. 19741211 199802 2 001

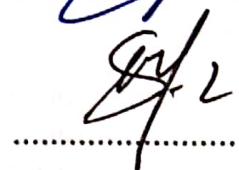
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

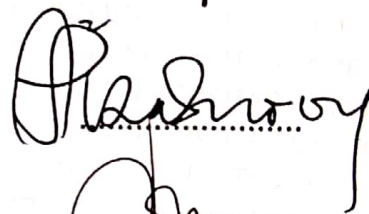
Ketua : Prof. Suharso, Ph.D.



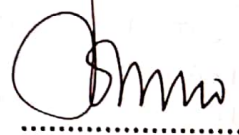
Sekretaris : Prof. Dr. Buhani, M.Si.



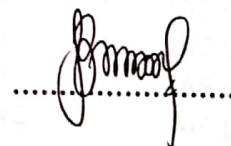
Penguji Bukan Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Noviany, S.Si., M.Si.



Anggota : Prof. Dr. Ir. Yandri A.S., M.S.



Anggota : Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si.



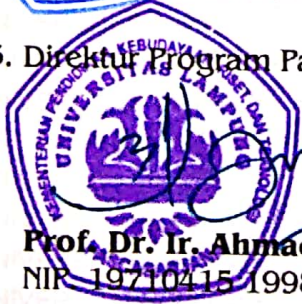
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Sufipto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 19740705 200003 1 001



3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP. 19710415 199803 1 005



Tanggal Lulus Ujian Tesis : 8 Juli 2022

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Restu Dwi Aprian
Nomor Pokok Mahasiswa : 2027011004
Program Studi : Magister Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa tesis saya yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$)” adalah benar karya sendiri dan tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data dalam tesis tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan.

Bandar Lampung, 8 Juli 2022



Restu Dwi Aprian
NPM. 2027011004

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Srikunoro pada tanggal 14 April 1995, anak terakhir dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Suluri dan Ibu Saerah.

Penulis mengawali pendidikan formal di SD Negeri 1 Srikaton yang diselesaikan pada tahun 2007. Tahun 2007 diterima di SMP Negeri 1 Kotaagung yang diselesaikan pada tahun 2010. Tahun 2010 masuk SMA Negeri 1 Gadingrejo yang diselesaikan tahun 2013. Tahun 2013 penulis diterima di Universitas Lampung Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Jurusan Pendidikan MIPA Program Studi Pendidikan Kimia sehingga memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada tahun 2017.

Pada tahun 2017 Penulis mengikuti pendidikan profesi guru bidang teknik kimia yang diselenggarakan oleh kemristekdikti dan diselesaikan tahun 2018. Tahun 2020 Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Pascasarjana Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penulis saat ini bekerja di SMP Qur'an Darul Fattah Bandar Lampung dan menjabat sebagai wakil kepala sekolah bidang kesiswaan sejak tahun 2021.

Untuk bapak, ibu, istri dan anak tercinta serta sahabat dan teman yang memberikan cinta, doa dan dukungan karena Allah. Semoga Allah kumpulkan kita semua di surga.

MOTO

Mengucap **Alhamdulillah** dengan seribu rasa sakit di dada adalah contoh **keyakinan** yang dalam kepada **Allah**.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah subhanahu wa ta'ala, karena kemudahan dan kesempatan yang diberikan oleh Allah tesis ini dapat diselesaikan. Tesis dengan judul “Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat ($MgCO_3$)” adalah sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains di Universitas Lampung. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharso, Ph. D., selaku dosen Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga untuk memberi masukan, arahan, dan bimbingan dalam proses penyelesaian tesis ini.
2. Ibu Prof. Dr. Buhani, M. Si., selaku dosen pembimbing II yang telah sabar dalam memberikan bimbingan, motivasi, kritik, dan saran dalam proses penyelesaian tesis ini.
3. Ibu Prof. Dr. Noviany, M.Si., selaku dosen penguji penelitian yang telah memberikan saran dan kritikan dalam penyusunan tesis ini agar menjadi lebih baik lagi.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Yandri A.S., M.S., selaku dosen penguji penelitian yang telah memberikan saran dan kritikan dalam penyusunan tesis ini agar menjadi lebih baik lagi.
5. Ibu Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si., selaku dosen penguji penelitian yang telah memberikan saran dan kritikan dalam penyusunan tesis ini agar menjadi lebih baik lagi.
6. Ibu Dr. Nurhasanah, M.Si., selaku Ketua Program Studi Magister Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan bantuan dan ilmu pengetahuan kepada penulis.

7. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M. T., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
9. Bapak dan Ibu Staf Administrasi FMIPA Universitas Lampung.
10. Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik yang telah banyak membantu Penulis dalam melakukan penelitian ini.
11. Orangtuaku Bapak Suluri dan Ibu Saerah yang sangat Penulis sayangi, terima kasih atas doa dan semangat yang diberikan.
12. Istriku Yolanda Tara Mita dan Anakku tercinta Riffat Kazeem Abqary, terima kasih atas doa dan semangat yang diberikan.
13. Kepala Sekolah, seluruh staff, guru dan siswa-siswi SMP Qur'an Darul Fattah, terima kasih atas doa dan semangat yang diberikan.
14. Teman-teman angkatan 2020, dan Kakak Adik tingkat di Jurusan Kimia serta semua pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu.

Akhirnya Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 8 Juli 2022

Restu Dwi Aprian

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pembentukan Senyawa Anorganik.....	7
2.2 Kerak	8
2.3 Mekanisme Pembentukan Kerak.....	9
2.4 Magnesium Karbonat (MgCO ₃).....	13
2.5 Metode Pencegahan Kerak MgCO ₃	16
2.5.1 Pengendalian pH	16
2.5.2 Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air	16
2.5.3 Penggunaan Inhibitor Kerak	17
2.6 Tanaman Gambir (<i>Uncaria Gambier Roxb</i>)	20
2.7 Asap Cair Tempurung Kelapa <i>grade 2</i>	21
2.8 Metode <i>Seeded</i> dan <i>Unseeded Experiment</i>	22
2.9 Analisis dan Karakterisasi Kerak MgCO ₃	23
2.9.1 <i>Spektrofotometer InfraRed (IR)</i>	23
2.9.2 <i>Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	24
2.9.3 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	25
2.9.4 <i>X-Ray Diffraction (X-RD)</i>	26
2.9.5 <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	27
III. METODE PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan.....	29
3.3 Prosedur Penelitian	30
3.3.1 Pembuatan Ekstrak Gambir	30
3.3.2 Pembuatan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	30

3.3.3	Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	31
3.3.4	Pengujian Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> Sebagai Inhibitor Pembentukan Kristal MgCO ₃ dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	32
3.3.4.1	Pengujian Pembentukan Kristal MgCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor	32
3.3.4.2	Pengujian Pembentukan Kristal MgCO ₃ Dengan Penambahan Inhibitor	32
3.3.5	Pengujian Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> Sebagai Inhibitor Pembentukan Kristal MgCO ₃ Dengan Metode <i>Seeded Experiment</i>	33
3.3.5.1	Preparasi Bibit Kristal MgCO ₃	33
3.3.5.2	Pengujian Pembentukan Kristal MgCO ₃ Tanpa Penambahan Inhibitor	34
3.3.5.3	Pengujian Pembentukan Kristal MgCO ₃ Dengan Penambahan Inhibitor	34
3.4	Analisis Data	35
3.5	Diagram Alir Penelitian	36
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1	Uji Ketahanan Larutan Inhibitor	37
4.2	Karakterisasi Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah (IR)	38
4.3	Karakterisasi Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS)	40
4.4	Penentuan Efektivitas Inhibitor Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> Terhadap Pertumbuhan Kerak MgCO ₃	44
4.5	Penentuan Laju Pertumbuhan Kerak Magnesium Karbonat (MgCO ₃) Pada Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dengan Penambahan Inhibitor GA (5 : 9)	46
4.6	Karakterisasi Distribusi Ukuran Partikel MgCO ₃ Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	50
4.7	Karakterisasi Permukaan Kerak MgCO ₃ Menggunakan <i>Microscopy Scanning Electron</i> (SEM)	52
4.8	Karakterisasi Struktur Kerak MgCO ₃ Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	54
	SIMPULAN DAN SARAN	58
	DAFTAR PUSTAKA	60
	LAMPIRAN	68
	Tabel 8-11	69

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan kimia gambir	21
2. Komponen kimia asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> hasil GC-MS.....	22
3. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	31
4. Komponen-komponen kimia ekstrak gambir	42
5. Komponen-komponen kimia asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	43
6. Nilai pH dari ekstrak gambir, asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> , dan berbagai perbandingan konsentrasi inhibitor GA.....	46
7. Intensitas pola difraksi MgCO ₃ tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor GA (5 : 9)	56
8. Pertumbuhan kerak MgCO ₃	69
9. Pertumbuhan kerak MgCO ₃ tanpa inhibitor	70
10. Pertumbuhan kerak MgCO ₃ tanpa inhibitor	71
11. Pertumbuhan kerak MgCO ₃ dengan inhibitor GA (5 : 9)	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Representasi skematik proses pertukaran panas.....	7
2. Nukleasi homogen.....	9
3. Nukleasi heterogen.....	10
4. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak.....	11
5. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan.....	13
6. Endapan kerak magnesium karbonat ($MgCO_3$) (a) dalam pipa (b) permukaan <i>heat exchanger</i>	14
7. Kelarutan $MgCO_3$ (a) di dalam air (b) dalam larutan NaCl (c) dalam larutan NH_4Cl (d) dalam larutan $MgCl_2$ pada suhu yang berbeda.....	15
8. Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer hijau.....	18
9. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan.....	19
10. Tanaman gambir (<i>Uncaria gambier roxb</i>).....	20
11. Asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	21
12. Analisis SEM $MgCO_3$	26
13. Analisis XRD $MgCO_3$	27
14. Analisis PSA $MgCO_3$	28
15. Diagram alir penelitian.....	36

16. Perubahan ekstrak gambir (A) tanpa penambahan asap cair tempurung kelapa grade 2 dan (B) dengan penambahan asap cair tempurung kelapa grade 2 setelah didiamkan selama 2 minggu	38
17. Hasil karakterisasi IR (a) ekstrak gambir, (b) asap cair tempurung kelapa grade 2, (c) campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa grade 2 (GA 5 : 9).....	39
18. Hasil karakterisasi <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) ekstrak gambir.....	41
19. Hasil karakterisasi <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) asap cair tempurung kelapa grade 2	42
20. Pertumbuhan kerak $MgCO_3$ pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,05 M terhadap waktu pada perbandingan konsentrasi inhibitor GA yang bervariasi	44
21. Efektivitas inhibitor GA pada larutan pertumbuhan $MgCO_3$ 0,05 M pada perbandingan konsentrasi yang bervariasi	45
22. Pertumbuhan kerak $MgCO_3$ dengan menggunakan metode <i>unseeded experiment</i>	47
23. Pertumbuhan kerak $MgCO_3$ dengan menggunakan metode <i>seeded experiment</i>	48
24. Efektivitas inhibitor GA (5 : 9) pada masing-masing larutan pertumbuhan $MgCO_3$ dengan metode <i>unseeded dan seeded experiment</i>	49
25. Distribusi ukuran partikel $MgCO_3$	50
26. Morfologi kerak $MgCO_3$ pada konsentrasi 0,050 M dengan perbesaran 1000x tanpa penambahan inhibitor (A) dan dengan penambahan inhibitor GA (5 : 9) (B).....	52
27. Morfologi kerak $MgCO_3$ pada konsentrasi 0,050 M dengan perbesaran 5000x tanpa penambahan inhibitor (A) dan dengan penambahan inhibitor GA (5 : 9) (B)	53
28. Mekanisme inhibitor GA dalam menghambat laju pertumbuhan kristal $MgCO_3$ dalam larutan pertumbuhan	54
29. Grafik XRD kristal $MgCO_3$ pada larutan pertumbuhan 0,050 M tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor campuran GA (5 : 9)	55
30. Hasil karakterisasi XRD $MgCO_3$	56

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri minyak dan gas bumi merupakan sektor penting di dalam pembangunan nasional baik dalam hal pemenuhan kebutuhan energi dan bahan baku industri di dalam negeri maupun sebagai penghasil devisa negara sehingga pengelolaannya perlu dilakukan secara optimal. Pengelolaan industri minyak dan gas bumi meliputi usaha pencarian (*eksplorasi*), pengolahan, dan pemasaran produk hasil industri minyak dan gas bumi.

Salah satu komponen yang sangat penting dalam kegiatan produksi pada industri minyak dan gas bumi adalah pipa penyalur (*pipeline*). Pipa merupakan komponen konstruksi yang selalu digunakan untuk berbagai keperluan industri, terutama perusahaan minyak dan gas bumi, air minum, serta industri kimia lainnya yang berfungsi sebagai transportasi aliran fluida dari satu area ke area lainnya (Sari dan Bayuseno, 2015). Salah satu problematika yang sering terjadi dalam pipa industri minyak dan gas bumi adalah terbentuknya endapan yang disebut kerak (*scale*). Suharso *et al.* (2010) melaporkan bahwa aliran fluida di dalam pipa bersifat garam dan terjadinya penurunan tekanan secara tiba-tiba menyebabkan terjadinya endapan garam yang menumpuk di sepanjang pipa alirnya dan membentuk kerak.

Diameter pipa akan mengecil ketika kerak sudah terbentuk di dalamnya, hal tersebut akan menghambat aliran fluida sehingga suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi yang dapat menyebabkan pecahnya pipa (Ariyanto, 2013). Pernyataan tersebut selaras dengan hasil penelitian Suharso *et al.* (2014) yang mengatakan bahwa kerak yang terbentuk pada pipa-pipa peralatan industri ini

sangat mengganggu dan menghambat proses produksi, sehingga berpengaruh pada inefisiensi waktu dan dana. Suharso *et al.* (2017) melaporkan bahwa perusahaan minyak Indonesia (Pertamina, Tbk) menghabiskan 85-100 miliar rupiah untuk mengganti setiap pipa pada bagian geotermal setiap 10 tahun dalam mengatasi masalah kerak.

Kerak adalah tumpukan keras dari bahan anorganik yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air terutama pada permukaan perpindahan panas (Bhatia, 2003). Beberapa jenis kerak yang dilaporkan Raharjo (2020) yang biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri, seperti pada sistem perpipaan adalah kalsium karbonat (CaCO_3), kalsium sulfat (CaSO_4) dan magnesium karbonat (MgCO_3). Kerak magnesium karbonat (MgCO_3) adalah yang paling banyak dijumpai di dalam pipa industri (Mandela, 2017). Kerak MgCO_3 yang dilaporkan Muryanto *et al.* (2014) adalah tumpukan keras bahan anorganik dalam bentuk ion Mg^{2+} dan CO_3^{2-} terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Holysz *et al.* (2007) juga melaporkan kehadiran kerak MgCO_3 dalam bidang industri dapat menyebabkan masalah serius karena dapat mengendap dan menyumbat pipa.

Pembentukan kerak dapat dicegah dengan cara pengendalian pH dengan menginjeksikan asam seperti asam sulfat atau asam klorida (Suharso dan Buhani, 2012). Pendapat tersebut selaras dengan hasil penelitian Suharso *et al.* (2013) yang melaporkan bahwa pembentukan kerak pada peralatan-peralatan industri dapat dicegah menggunakan metode seperti dengan menurunkan pH larutan melalui penambahan asam dan penggunaan senyawa-senyawa anorganik. Namun berdasarkan penelitian Lestari (2008), penghilangan kerak menggunakan asam dengan konsentrasi tinggi juga tidak efektif karena dapat meningkatkan laju korosi dan konduktivitas, serta mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya. Metode lain yang pernah dilakukan oleh Halimatuddahlia (2003) untuk mencegah terbentuknya kerak adalah dengan

cara pelunakan dan pembebasan mineral air, namun metode ini memiliki kekurangan yaitu membutuhkan biaya yang besar.

Berdasarkan beberapa kelemahan tersebut, maka dikembangkan salah satu metode efektif yang dapat digunakan untuk mencegah atau mengontrol masalah kerak yaitu dengan menambahkan inhibitor kerak. Inhibitor kerak adalah suatu bahan kimia dengan konsentrasi yang kecil yang ditambahkan dalam suatu sistem air agar dapat menghentikan atau mencegah terbentuknya kerak. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian Suharso *et al.* (2007) yang juga mengembangkan penggunaan inhibitor kerak sebagai metode efektif yang dapat digunakan untuk mengurangi laju pertumbuhan kerak. Inhibitor menurut Raharjo *et al.* (2016) adalah zat yang digunakan untuk menjaga anion-kation pembentuk kerak tetap berada dalam larutannya, sehingga diharapkan tidak terjadi pembentukan kerak. Salah satu prinsip kerja dari inhibitor kerak menurut Suharso dan Buhani (2011) yaitu pembentukan senyawa kompleks (kelat) antara inhibitor kerak dengan unsur-unsur pembentuk kerak, sehingga ketika senyawa penjebakan yang terbentuk larut dalam air maka kemungkinan pertumbuhan kristal dapat dicegah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sousa *and* Bertran (2014), inhibitor biasanya diinjeksikan ke dalam larutan yang secara kontinyu maupun periodik, sehingga mampu mengendalikan proses *nucleation*, pertumbuhan kristal yang terjadi pada permukaan pipa dan peralatan lainnya. Pernyataan tersebut didukung oleh hasil penelitian Wang *et al.* (2010) yang melaporkan bahwa inhibitor juga dapat menurunkan pH larutan, mengontrol *impurity* ion senyawa anorganik serta komposisi morfologi dan fase kristal $MgCO_3$ dan mencegah proses *nucleation* dan pertumbuhan kristal. Efektivitas inhibitor kerak bergantung pada kemampuan aditif untuk mengganggu proses pembentukan kerak, seperti pada proses nukleasi atau dengan pertumbuhan kristal (Tzotzi *et al.*, 2007). Adapun faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inhibitor kerak adalah keefektifan, kestabilan, kecocokan, jumlah biaya, dan dapat stabil dalam air pada waktu yang panjang dan temperatur yang tinggi (Raharjo, 2020).

Ekstrak gambir (*Uncaria gambier Roxb*) diteliti oleh Suharso *et al.* (2010) diketahui memiliki kandungan senyawa kimia seperti asam tanat, katekin, dan kuarsetin yang terbukti mampu menghambat pertumbuhan kerak CaCO_3 . Namun berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suharso *et al.* (2017) ekstrak gambir memiliki kekurangan yaitu mudah berjamur dan tidak bisa disimpan dalam waktu yang lama. Untuk menanggulangi masalah tersebut, ekstrak gambir akan dicampurkan dengan asap cair tempurung kelapa yang diketahui memiliki kandungan senyawa fenolik dan asam (Suharso *et al.*, 2019). Hal tersebut didukung oleh hasil penelitian Suharso *et al.* (2017) yang mengatakan bahwa penambahan senyawa asam seperti asam sitrat dan benzoat pada ekstrak gambir dapat mencegah tumbuhnya jamur sehingga dapat digunakan dalam waktu yang lama sebagai inhibitor kerak CaCO_3 .

Pemilihan perpaduan ekstrak gambir dengan asap cair tempurung kelapa sebagai inhibitor kerak karena gambir dan asap cair tempurung kelapa memiliki harga yang murah dan mudah diproduksi. Ekstrak gambir mengandung senyawa kimia asam tanat, katekin, dan kuarsetin serta asap cair tempurung kelapa mengandung senyawa fenolik dan asam sehingga dapat digunakan sebagai *green* inhibitor pertumbuhan kerak MgCO_3 pada pipa-pipa industri. Adanya kandungan senyawa fenolik dan asam pada asap cair tempurung kelapa dapat meningkatkan kualitas ekstrak gambir sehingga tidak mudah berjamur dan dapat disimpan dalam waktu yang lama. Asap cair tempurung kelapa yang akan digunakan pada penelitian ini adalah asap cair tempurung kelapa *grade 2* yang diketahui lebih aman karena dapat digunakan sebagai pengawet bahan makanan mentah (Yulistiani, 2008). Selain itu gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* merupakan *green inhibitor* yang ramah lingkungan.

Metode yang digunakan untuk mengetahui keefektifan suatu inhibitor secara kuantitatif dapat diketahui berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan metode *unseeded* dan *seeded experiment*. *Unseeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara tanpa menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. *Seeded experiment* merupakan salah satu metode

pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit kristal dapat mendorong terjadinya proses kristalisasi dengan lebih cepat yang mengakibatkan laju pertumbuhan inti kristal MgCO_3 semakin cepat.

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

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian latar belakang, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh penambahan campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak MgCO_3 pada konsentrasi yang berbeda.
2. Mengetahui keefektifan campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak MgCO_3 dengan menggunakan metode *unseeded* dan *seeded experiment* melalui analisis data dan karakterisasi menggunakan SEM, PSA, dan XRD.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kemampuan dari campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak MgCO_3 sehingga dapat dikembangkan untuk memperoleh inhibitor kerak yang lebih efektif, terutama untuk mencegah

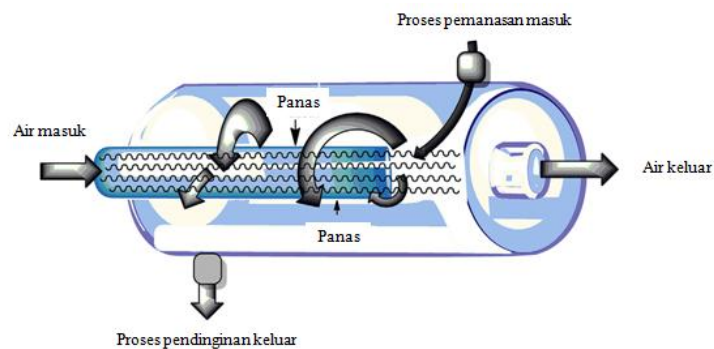
pembentukan kerak pada peralatan-peralatan industri agar dampak negatif dari pembentukan kerak tersebut dapat dikurangi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembentukan Senyawa Anorganik

Proses pengendapan senyawa-senyawa anorganik biasa terjadi pada peralatan-peralatan industri yang melibatkan air garam, seperti: industri minyak, industri gas, industri yang melibatkan proses destilasi dan industri yang menggunakan ketel serta industri kimia (Badr *and* Yassin, 2007). Timbulnya kerak disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur anorganik pembentuk kerak salah satunya logam Mg dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Terakumulasinya endapan-endapan dari senyawa anorganik tersebut dapat menimbulkan masalah seperti kerak (Suharso *et al.* 2010).

Secara luas air digunakan sebagai cairan pendingin untuk menghilangkan panas yang tidak diinginkan dari permukaan perpindahan panas seperti pada alat penukar panas, kondensor, evaporator, *cooling tower*, dan *pipe walls*. Untuk proses pendinginan, air dipompa di seluruh tabung penukar panas logam yang terkena proses panas. Air panas yang dihasilkan menjadi dingin dalam *cooling tower* melalui proses penguapan, yang akan digunakan kembali sehingga proses pendinginan dapat diulangi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



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

Pendinginan uap tersebut memungkinkan sistem air menjadi lewat jenuh, dengan adanya mineral terlarut yang dipengaruhi oleh karbonat, sulfat, fosfat, logam silikat/silika, besi, dan lain-lain yang menghasilkan depot dan pembentukan kerak. Pada supersaturasi, pembentukan kerak dapat terjadi dikarenakan fluktuasi suhu yang mendadak pada permukaan perpindahan panas ketika air menyentuh permukaan tersebut.

2.2 Kerak

Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kemmer, 1979). Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008). Pembentukan kerak terjadi dalam suatu aliran yang bersifat garam jika mengalami penurunan tekanan secara tiba-tiba, maka aliran tersebut menjadi lewat jenuh dan menyebabkan terbentuknya endapan garam yang menumpuk pada dinding-dinding peralatan proses industri (Amjad, 1995).

Pembentukan kerak pada pipa-pipa di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis. Hal ini disebabkan karena 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 (Suharso, *et al.*, 2007). Terganggunya aliran fluida menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan pecah dan rusak semakin tinggi (Patton, 1981).

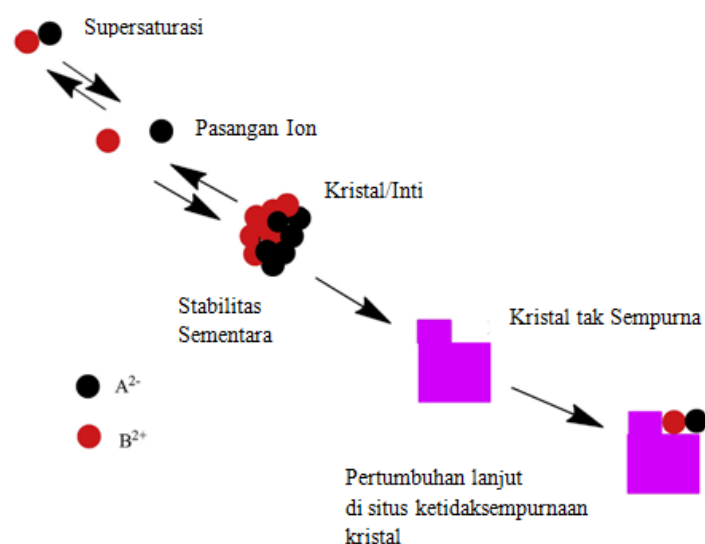
Salah satu penyebab terbentuknya kerak adalah kesadahan air. Kesadahan merupakan sifat air yang disebabkan oleh adanya ion-ion atau kation logam. Salah satu penyebab kesadahan adalah ion Mg^{2+} . Magnesium dalam air inilah yang cenderung membentuk garam dengan karbonat atau bikarbonat. Apabila

dididihkan bikarbonat akan berubah menjadi karbonat yang lebih kecil nilai kelarutannya. Kelebihan ion magnesium dapat mengakibatkan pembentukan kerak pada pipa yang disebabkan oleh endapan Magnesium karbonat ($MgCO_3$).

Selain Magnesium karbonat ($MgCO_3$) komponen-komponen kerak yang sering dijumpai pada peralatan industri yaitu kalsium karbonat, seng fosfat, kalsium fosfat, silika dengan konsentrasi tinggi dan magnesium silikat (Lestari *et al.*, 2004), kalsium sulfat ($CaSO_4$), besi dioksida (senyawa yang disebabkan oleh kurangnya kontrol korosi atau alami berasal dari besi yang teroksidasi), besi fosfat (senyawa yang disebabkan karena pembentukan lapisan film dari inhibitor fosfat), mangan dioksida (mangan teroksidasi tingkat tinggi), dan magnesium pada konsentrasi tinggi dengan pH tinggi, magnesium karbonat, magnesium dengan konsentrasi tinggi dan pH tinggi serta CO_2 tinggi (Lestari, 2008).

2.3 Mekanisme Pembentukan Kerak

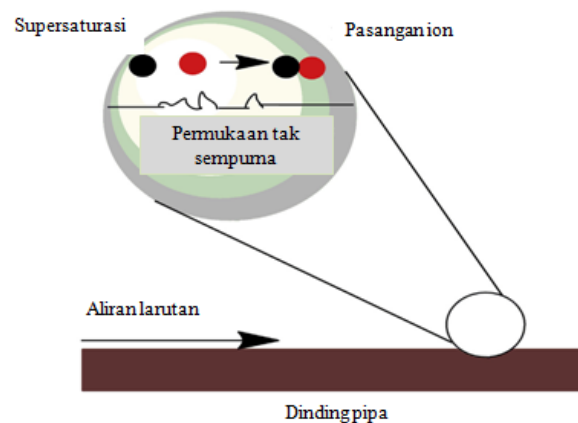
Pertumbuhan kerak merupakan proses yang terdiri dari beberapa tahap dan berasal dari suatu larutan. Pertumbuhan awal dalam pembentukan kerak mineral yaitu terbentuknya gugus atom yang tidak stabil di dalam cairan lewat jenuh oleh nukleasi homogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



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

Gugus atom yang tidak stabil menghasilkan benih kristal kecil di dalam larutan lewat jenuh. Akibatnya ukuran benih kristal tersebut tumbuh, dengan menyerap ion ke dalam permukaan kristal yang tidak sempurna maka ukuran kristal menjadi semakin lebih besar. Energi saat kristal tumbuh menjadi lebih besar diperoleh dari reduksi pada permukaan energi bebas kristal. Selain itu, dengan cepat direduksi saat peningkatan radius mencapai radius kritis (Suharso *et al.*, 2007). Hal ini menunjukkan bahwa kristal yang berukuran besar mendukung agar kristal dapat terus tumbuh, sedangkan benih kristal berukuran kecil dapat kembali larut. Benih kristal merupakan suatu katalisator pembentukan kerak yang dapat mendorong pertumbuhan tumpukan kerak (Suharso *et al.*, 2007).

Proses nukleasi heterogen, pertumbuhan kristal dimulai pada permukaan batas larutan yang sudah ada sebelumnya di dalam pipa pertukaran panas. Nukleasi heterogen yang ada pada permukaan, bekerja jauh lebih baik daripada nukleasi homogen. Menurut Alahmad (2008) tempat nukleasi heterogen mencakup permukaan tak sempurna seperti kekasaran permukaan pipa atau perforasi di *liners* produksi atau bahkan bergabung dan meninggalkan bekas pada *tubing* dan *pipelines* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

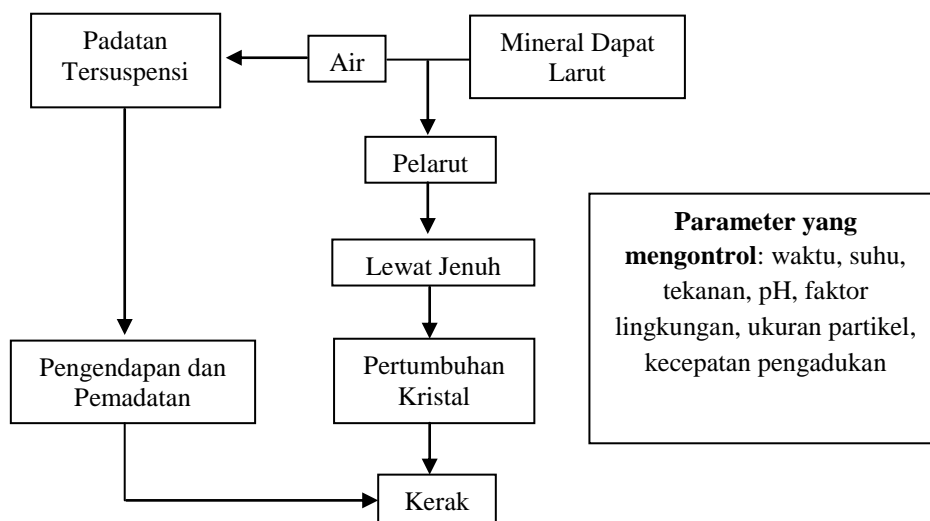


Gambar 3. Nukleasi heterogen (Crabtree *et al.*, 1999).

Pembentukan kerak dan deposit terbentuknya endapan pada pipa industri terjadi karena adanya proses kristalisasi yang kompleks. Kecepatan pembentukan lapisan awal kerak dan kecepatan pertumbuhan ditentukan oleh interaksi dari

beberapa kecepatan proses seperti: nukleasi, difusi, reaksi kimia, dan kesesuaian pola geometris molekul-molekul dan atom-atom kristal kerak, dan lain-lain. Sebagian besar kelarutan mineral pembentuk kerak cenderung menurun terhadap kenaikan suhu.

Apabila larutan lewat jenuh bersinggungan dengan permukaan transfer panas, mineral tersebut mengendap menjadi padatan karena daya larut setimbangnya menurun. Ketika larutan menjadi lewat jenuh dan nukleasi terjadi, kondisi ini sangat cocok dan ideal untuk pertumbuhan kristal partikel kerak. Senyawa-senyawa yang dibawa air seperti kalsium sulfat, magnesium sulfat, barium sulfat, magnesium karbonat, kalsium karbonat, silikat, dan lain-lain dapat mengendap dan membentuk kerak. Perubahan-perubahan tersebut terjadi dalam peralatan-peralatan proses, penukar panas, evaporator, *boiler*, *cooling tower*, dan lain-lain (Salimin dan Gunandjar, 2007). Skema mekanisme pembentukan kerak yang dilengkapi parameter-parameter penting yang mengontrol setiap tahapan ditunjukkan pada Gambar 4.



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

Mekanisme pembentukan endapan kerak berkaitan erat dengan komposisi di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- SO_4^{2-} dan

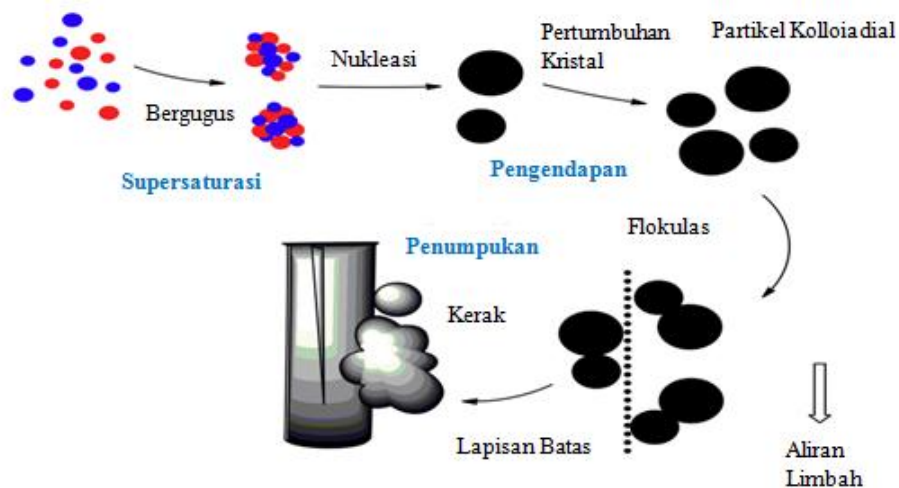
CO_3^{2-}). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses kelarutan. Kelarutan didefinisikan sebagai batas suatu zat yang dapat dilarutkan dalam formasi yang merupakan fungsi dari tekanan, temperatur serta waktu kontak antara air dengan media pembentukan (Ratna, 2011).

Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi adalah air yang ikut bersama dengan minyak dan gas. Biasanya air ini banyak mengandung bermacam-macam garam dan asam, terutama NaCl yang dapat menyebabkan terbentuknya kerak. Air ini biasanya disebut dengan *oil field water* atau *connate water* atau *inertial water*. Air mempunyai batas kemampuan dalam menjaga senyawa ion-ion tersebut tetap dalam larutan, sehingga pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu, dimana harga kelarutan terlampaui, maka senyawa tersebut tidak akan terlarut lagi, melainkan terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padatan (Ratna, 2011).

Mekanisme pembentukan kerak bersifat kompleks dan dimulai dengan interaksi elektrostatik antara anion dan kation terlarut untuk membentuk pasangan ion. Supersaturasi yang tinggi merupakan suatu kekuatan pendorong yang kuat dan penting untuk memulai nukleasi primer (sub partikel atau gugus ion terdiri dari sekitar 10 ion kerak individu). Konsentrasi pasangan ion meningkat pada supersaturasi yang lebih tinggi dan secara berurutan dapat bertindak sebagai *building block* untuk partikel yang lebih besar. Selanjutnya, dalam nukleasi sekunder partikel yang lebih besar atau mikrokristal berada dalam kesetimbangan dinamis dengan larutan limbah dan disebut sebagai nukleasi homogen. Mikrokristal yang dihasilkan berkumpul dan mengabsorpsi pada permukaan (kristal lainnya dan batas-batas cairan dalam industri pengolahan) untuk membentuk mikrokristal inti, yang akhirnya tumbuh menjadi makrokristal. Pertumbuhan mikrokristal yang terus menerus ini mengakibatkan timbulnya lapisan kerak pada permukaan. Kristalisasi permukaan dimulai dengan interaksi dalam keadaan larutan lewat jenuh.

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

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

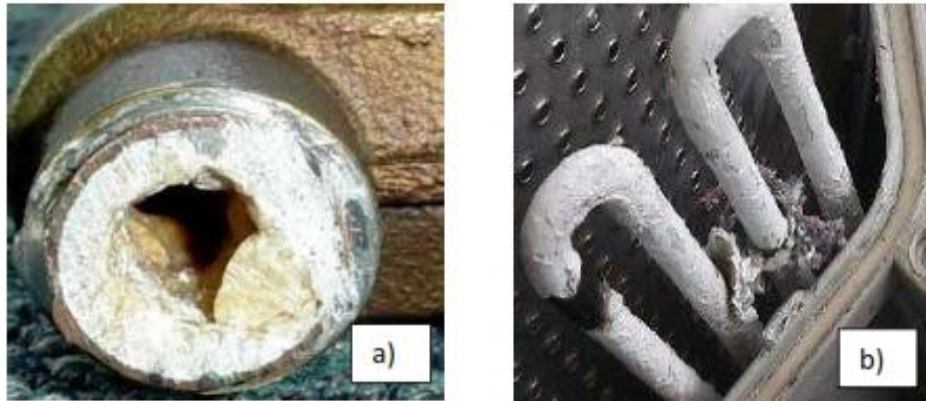


Gambar 5. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan (Addicott *et al.*, 1987).

2.4 Magnesium Karbonat (MgCO_3)

Magnesium karbonat (MgCO_3) adalah mineral yang sedikit larut dalam air dan air tanah. Ini dapat dibentuk dalam aplikasi industri tertentu, yaitu di evaporator dan pembangkit listrik pendingin. Kehadiran mineral ini dapat membuat masalah yang

signifikan karena dapat mengendapkan dan menyumbat pipa seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Endapan kerak magnesium karbonat (a) dalam pipa (b) permukaan *heat exchanger* (Crabtree *et al.*, 1999).

Prinsip pembentukan kerak magnesium karbonat dipengaruhi oleh banyak faktor seperti konsentrasi larutan, nilai pH, suhu, tekanan, dan kekuatan ion. Secara umum, magnesium karbonat dapat diendapkan dari air garam saat pemanasan dan ada tiga polimorf yaitu kalsit, valerit, aragonit. Aragonit dan vaterite adalah fase yang paling stabil dalam suhu yang lebih rendah, sementara kalsit umumnya terbentuk pada suhu yang lebih tinggi (Raharjo, 2020).

Pembentukan kerak magnesium karbonat ditentukan oleh laju aliran (Basim *et al.*, 2012). Dalam aliran laminar, laju aliran yang lebih tinggi menyebabkan lebih banyak massa kerak magnesium karbonat yang akan diendapkan menunjukkan bahwa peningkatan aliran fluida meningkatkan laju aliran volume (Muryanto *et al.*, 2012). Studi sebelumnya oleh Gourdon (2011) telah menunjukkan bahwa formasi kerak dapat ditemukan dalam aliran laminar dan turbulen sepenuhnya. Dalam aliran laminar penuh, pertumbuhan kristal deposit ditemukan pada tingkat yang lambat, sedangkan dalam turbulen deposit sepenuhnya semakin tumbuh dengan meningkatnya laju aliran massa (Amor *et al.*, 2004).

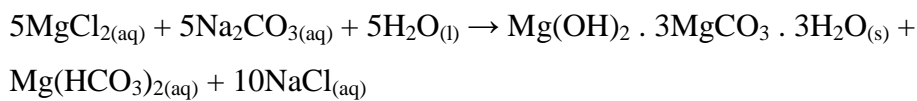
Metode untuk mencegah pembentukan kerak $MgCO_3$ dalam pipa dapat menggunakan inhibitor kimia, yang dapat mengontrol pertumbuhan kristal dan

mengubah morfologi . Kehadiran inhibitor menjadi solusi dapat terus mengontrol proses pembentukan inti dan pertumbuhan kristal yang terjadi di permukaan kristal yang sedang tumbuh. Penggunaan aditif yang dibuat khusus dapat membantu untuk memeriksa berbagai proses mengenai nukleasi kristal dan pertumbuhan, interaksi dengan lingkungan pertumbuhan dan polimorfisme kristal.

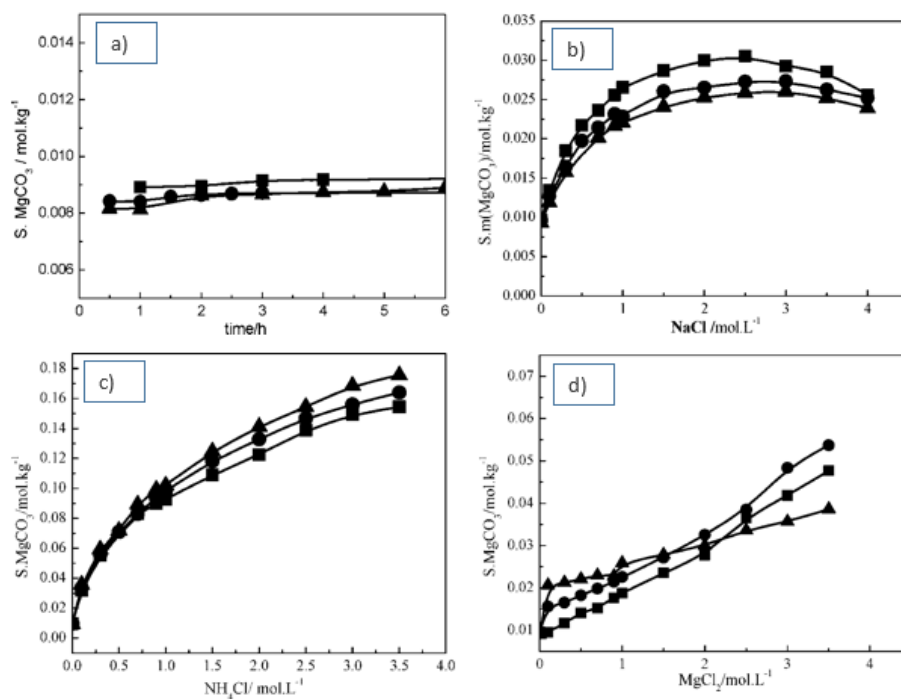
Magnesium karbonat dapat disiapkan di laboratorium melalui reaksi antara garam magnesium terlarut dan natrium bikarbonat (Ariyanto, 2013):



Jika magnesium klorida diperlakukan dengan natrium karbonat berair, endapan magnesium karbonat hidrat kompleks magnesium karbonat dan magnesium hidroksida dari magnesium karbonat itu sendiri terbentuk:



Kelarutan kristal MgCO_3 memiliki kecenderungan yang berbeda-beda di dalam air, larutan NaCl , NH_4Cl , dan MgCl_2 seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kelarutan MgCO_3 (a) di dalam air (b) dalam larutan NaCl (c) dalam larutan NH_4Cl (d) dalam larutan MgCl_2 pada suhu yang berbeda. (■ = 15°C; ● = 25°C; ▲ = 35°C (Dong *et al.*, 2008)).

Kelarutan $MgCO_3$ di dalam air menurun dengan naiknya suhu, dan ketika di dalam larutan $NaCl$ kelarutan $MgCO_3$ meningkat sampai batas maksimum dan kemudian menurun secara bertahap dengan naiknya konsentrasi garam dan suhu. Sedangkan dalam larutan NH_4Cl dan $MgCl_2$ kelarutan $MgCO_3$ meningkat dengan naiknya suhu (Dong *et al.*, 2008).

2.5 Metode Pencegahan Kerak $MgCO_3$

Beberapa metode yang digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak magnesium klorida pada peralatan-peralatan industri adalah sebagai berikut :

2.5.1 Pengendalian pH

Pengendalian pH dengan penginjeksian asam (asam sulfat atau asam klorida) telah lama diterapkan untuk mencegah pengendapan oleh garam-garam kalsium, garam logam bivalen dan garam fosfat. Kelarutan bahan pembentuk kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Pada pH 6,5 atau kurang, korosi pada baja karbon, tembaga dan paduan tembaga dengan cepat akan berlangsung dan pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak hanyalah pada pH 7,0 sampai 7,5. Suatu sistem otomatis penginjeksian asam diperlukan untuk mengendalikan pH secara tepat. Asam sulfat dan asam klorida juga mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya (Suharso *et al.*, 2011).

2.5.2 Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Usaha pencegahan terjadinya kerak pada air yang mengandung kesadahan tinggi (± 250 ppm $CaCO_3$) perlu adanya pelunakan dengan menggunakan kapur dan soda abu (pengolahan kapur dingin). Masalah kerak tidak akan di jumpai bilamana dipakai air bebas mineral karena seluruh garam-garam terlarut dapat dihilangkan. Sehingga pemakaian air bebas mineral merupakan metoda yang tepat untuk menghambat kerak di dalam suatu sistem dengan pembebanan panas tinggi dimana pengolahan konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil

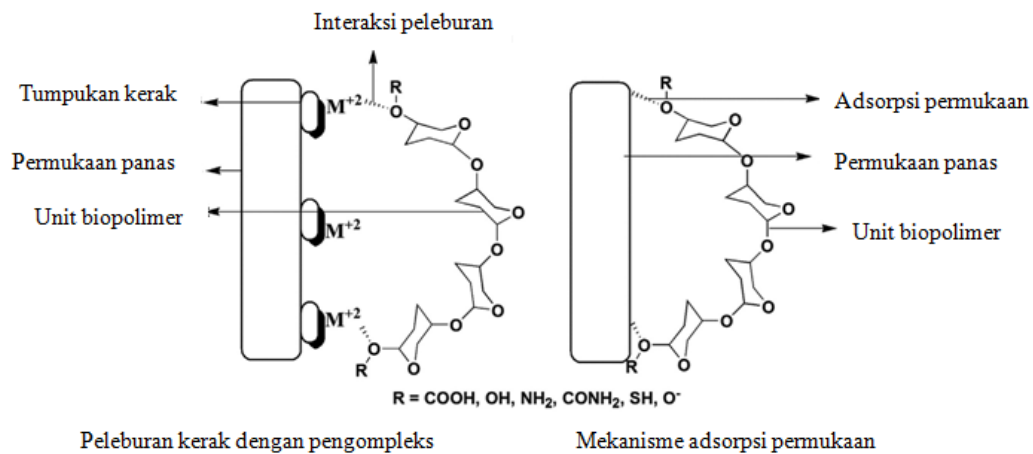
(Lestari *et al.*, 2004). Namun penggunaan air bebas mineral membutuhkan biaya yang cukup tinggi untuk digunakan dalam industri skala besar sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja.

2.5.3 Penggunaan Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak adalah bahan kimia yang menghentikan atau mencegah terbentuknya kerak bila ditambahkan pada konsentrasi yang kecil pada air (Halimatuddahlia, 2003). Penggunaan bahan kimia ini sangat menarik, karena dengan dosis yang sangat rendah dapat mencukupi untuk mencegah kerak dalam periode yang lama (Cowan *and* Weintritt, 1976). Salah satu prinsip kerja dari *scale* inhibitor yaitu membentuk senyawa kompleks (kelat) antara inhibitor kerak dengan unsur-unsur pembentuk kerak. Senyawa kompleks yang terbentuk larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar (Patton, 1981). Biasanya, penggunaan bahan kimia tambahan untuk mencegah pembentukan kerak didukung dengan penggunaan bola-bola spons untuk membersihkan secara mekanis permukaan bagian dalam pipa.

Penggunaan inhibitor kerak seperti zat pengompleks dengan biodegradabilitas tinggi mengandung atom nitrogen, yang mampu berinteraksi dengan ion logam dan gugus asam karboksilat yang mampu mengkoordinasikan ion logam melalui oksigen (Kolodynska *et al.*, 2008). 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. Senyawa kimia ramah lingkungan sebagai inhibitor membentuk selaput adsorpsi pada permukaan logam dan mencegah timbulnya kerak pada permukaan logam. Adsorpsi bersifat subjektif terhadap kepadatan muatan permukaan logam dan juga muatan molekul inhibitor (Ma *et al.*, 2001). 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 (Wang *et al.*,

2010). Mekanisme pencegahan dan pelepasan kerak oleh polimer ramah lingkungan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Mekanisme pencegahan dan pelepasan kerak oleh polimer hijau (Wang *et al.*, 2010).

Terdapat beberapa syarat-syarat yang harus dimiliki senyawa kimia sebagai inhibitor kerak yaitu :

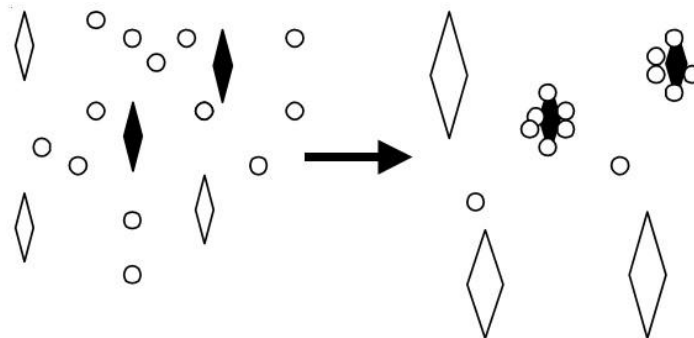
1. Inhibitor kerak harus menunjukkan kestabilan termal yang cukup dan efektif untuk mencegah terbentuknya air sadah dari pembentukan kerak.
2. Inhibitor kerak harus dapat merusak struktur kristal dan padatan tersuspensi lain yang mungkin akan terbentuk.
3. Inhibitor kerak juga harus memiliki tingkat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

Penambahan aditif juga mampu mengurangi pembentukan kerak $MgCO_3$ pada proses pengintian dan pertumbuhannya (Martinod *et al.*, 2007). Penambahan aditif seperti alumina juga berpengaruh terhadap perubahan morfologi kristal yang ditunjukkan pada Gambar 8. Penambahan aditif alumina 5; 10; 20 ppm, dihasilkan tipe Kristal nesquehonit dengan perubahan bentuk akibat penambahan aditif alumina (Rabizadeh *et al.*, 2014).

Mekanisme kerja inhibitor kerak terbagi menjadi dua, yaitu :

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

Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan dalam Gambar 9. Gambar 9 memberikan gambaran bagaimana kerja Inhibitor dalam mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal dari bibit kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam) yang mengakibatkan pertumbuhan kristal menjadi terhambat. Sedangkan pada bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal yang tidak diberi warna) mengalami pertumbuhan normal (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014).



Gambar 9. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan (\circ = inhibitor, \diamond = bibit kristal).

Inhibitor kerak ideal harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kontrol kerak efektif pada konsentrasi inhibitor rendah
2. Kompatibilitas dengan air laut dan air produksi
3. Keseimbang antara sifat adsorpsi-desorpsi
4. Stabilitas termal tinggi
5. Toksisitas rendah dan biodegradabilitas tinggi
6. Biaya rendah
7. Bebas dari fosfor dan logam berat (Duccini *et al.*, 1997).

2.6 Tanaman Gambir (*Uncaria Gambier Roxb*)

Tanaman gambir tumbuh baik dalam daerah dengan ketinggian sampai 900 m. Tanaman ini membutuhkan cahaya matahari penuh dan curah hujan merata sepanjang tahun. Bagian tanaman gambir yang dipanen adalah daun dan rantingnya yang selanjutnya diolah untuk menghasilkan ekstrak gambir yang bernilai ekonomis (Hayani, 2003) .

Gambir termasuk ke dalam famili *Rubiaceae* dan merupakan jenis tanaman perdu yang memiliki batang tegak dan bercabang simpodial, daunnya berjenis daun tunggal dan berbentuk lonjong, bunganya merupakan bunga majemuk berbentuk lonceng, sedangkan buahnya berbentuk bulat telur dan berwarna hitam (Suharso dan Buhani, 2012) seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Tanaman gambir (*Uncaria gambier roxb*)
(www.limapuluhkotakab.com., 2019).

Berbagai potensi yang dimiliki gambir sedang dipelajari dan diteliti kemampuannya, antara lain sebagai anti nematode dengan melakukan isolasi senyawa bioefektif anti *nematode bursapeleucus xyplus* dari ekstrak gambir (Alen *et al.*, 2004), bahan infus dari gambir untuk penyembuhan gangguan pada pembuluh darah (Sukati dan Kusharyono, 2004), perangsang sistem saraf otonom (Kusharyono, 2004), dan gambir sebagai obat tukak lambung juga sebagai bahan toksitas terhadap organ ginjal, hati, dan jantung (Armenia *et al*, 2004). Utari (2016) mengemukakan bahwa kandungan utama gambir adalah asam *kathecu*

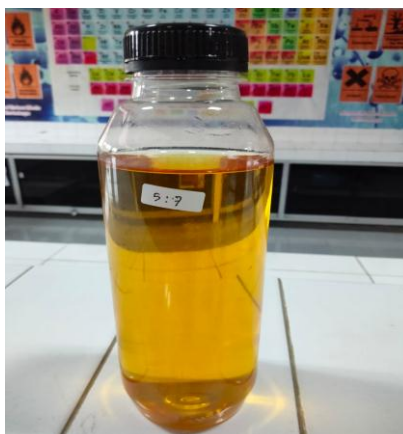
tannat (20-50%), katekin (7-33%), dan *pyrocatecol* (20-30%), sedangkan yang lainnya dalam jumlah terbatas seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan kimia gambir

No	Nama Komponen	Presentase (%)
1	Katekin	7-33
2	Asam katekin tannat	20-55
3	Pirokatekol	20-30
4	Gambir fluoresensi	1-3
5	Katekin merah	3-5
6	Kuersetin	2-4
7	Minyak (campuran)	1-2
8	Lilin	1-2
9	Alkaloid	<1

2.7 Asap Cair Tempurung Kelapa *grade 2*

Asap cair *grade 2* merupakan asap cair yang telah melewati tahapan destilasi dengan menggunakan suhu 250–300°C, kemudian dilakukan penyaringan zeolit. Asap cair ini memiliki warna kuning kecoklatan dan diorientasikan untuk pengawetan bahan makanan mentah (Rizal *et al.*, 2019). Asap cair tempurung kelapa *grade 2* ini hanya terdiri dari asap cair dengan bahan baku tempurung kelapa pada suhu pembakaran 300 °C dan 500°C (Luditama, 2006). Menurut Rizal *et al.* (2020) asap cair tempurung kelapa *grade 2*, memiliki warna yang lebih coklat bening seperti ditunjukkan pada Gambar 11 dengan kandungan asam asetat sebesar 51,6 %.



Gambar 11. Asap cair tempurung kelapa *grade 2*.

Analisis komponen spesifik asap cair dilakukan menggunakan GC-MS dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen kimia asap cair tempurung kelapa *grade 2* hasil GC-MS (Jayanudin dan Suhendi, 2012)

Waktu Retensi	% Area	Nama Senyawa
2,64	2,95	2-Propanon
2,69	11,20	Acetat Acid, Methyl Ester
3,12	7,72	Methanol
3,24	4,67	2-Butanon
11,11	2,26	2-Propanon
12,48	1,55	1-Hydroxy, 2-Butanon
13,48	45,56	Acetat Acid, Ethylic Acid
13,93	6,59	Furancarboxaldehyde
19,32	2,51	Phenol, 2-Methoxy
20,46	0,70	Benzene, 1,4-dimethoxy
20,85	12,93	Phenol

2.8 Metode *Seeded dan Unseeded 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 cepat terjadinya proses kristalisasi maka akan semakin cepat laju pertumbuhan inti kristal magnesium karbonat untuk membentuk kristal yang lebih besar. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak magnesium karbonat setelah ditambahkan inhibitor dengan penambahan bibit kristal (*seeded experiment*).

Unseeded experiment merupakan salah satu metode pembentukkan kristal dengan cara tanpa menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$. Metode ini biasanya digunakan untuk pemeliharaan alat-alat industri yang masih baru sehingga dibutuhkan pencegahan pertumbuhan kerak $MgCO_3$.

2.9 Analisis dan Karakterisasi Kerak MgCO₃

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa analisis dan karakterisasi terhadap kerak MgCO₃ yang telah terbentuk. Analisis tersebut meliputi analisis menggunakan IR merupakan salah satu metode dalam identifikasi struktur suatu senyawa untuk mengetahui adanya gugus-gugus fungsional utama 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 MgCO₃. Analisis morfologi permukaan kristal MgCO₃ menggunakan SEM, dan analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA. Analisis dan karakterisasi ini dilakukan agar dapat mengetahui seberapa efektif campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai *green* inhibitor pembentuk kerak MgCO₃.

2.9.1 Spektrofotometer InfraRed (IR)

Spektrofotometer IR adalah spektrofotometer yang menggunakan sinar IR dekat, yakni sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5 –25 μm atau jangkauan frekuensi 400–4000 cm^{-1} . Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi–rotasi (Khopkar, 2001).

Spektrum IR suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi vibrasi dan osilasi. Bila molekul menyerap radiasi IR, energi yang diserap akan menyebabkan kenaikan amplitude getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul-molekul tersebut berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*); energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Dengan demikian, spektrofotometer IR dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul (Supratman, 2010).

Dengan menggunakan analisis FT-IR terhadap ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*, diharapkan spektrum yang diperoleh dapat memberikan pita serapan yang menunjukkan adanya gugus C=O dari asam karboksilat, keton, aldehida dan ester pada bilangan gelombang 1690-1760 cm^{-1} . Selain itu dapat menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang sekitar 3300 cm^{-1} , gugus C=C pada bilangan gelombang 3010-3095 cm^{-1} atau 675-995 cm^{-1} , gugus C-H alkana pada bilangan gelombang 2850-2970 cm^{-1} atau 1340-1470 cm^{-1} dan aromatik pada bilangan gelombang 690-900 cm^{-1} atau 3010-3100 cm^{-1} (Skoog *et al.*, 2007).

2.9.2 Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)

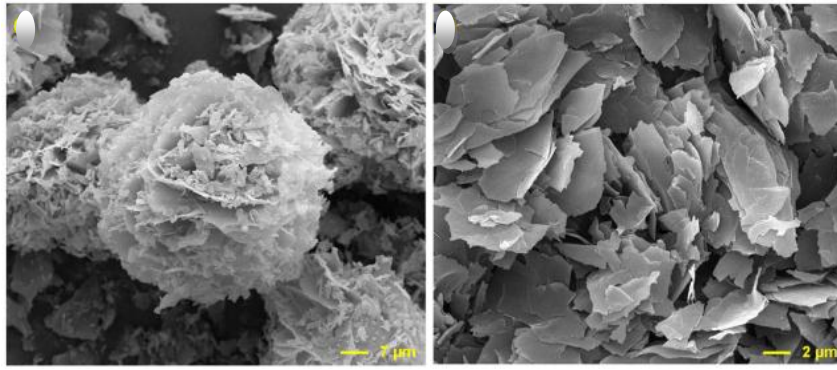
Kromatografi gas merupakan metode analisis berdasarkan perbedaan waktu retensi akibat perbedaan mobilitas analit melalui suatu kolom. Perbedaan mobilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain titik didih analit, gas, dan interaksi dengan fase padat dalam kolom. Prinsip dasar kromatografi sendiri adalah pemisahan senyawa-senyawa berdasarkan adanya perbedaan distribusi fasa gerak dan fasa diam (McNair dan Bonelli, 1998).

Spektrofotometri massa adalah suatu teknik analisis yang didasarkan pada pemisahan berkas ion-ion yang sesuai dengan perbandingan massa terhadap muatan dan pengukuran intensitas dari berkas-berkas ion tersebut (Rachmat, 2004). Secara sederhana spektrofotometri massa dapat dikatakan sebagai untuk mengionisasi molekul sampel dalam kondisi vakum dan mengukur massa dari ion-ion yang ditimbulkan. Prinsip pengukuran dengan spektrofotometri massa adalah molekul induk dalam bentuk gas ditembak dengan elektron berenergi tinggi sehingga terionisasi menjadi fragmen-fragmen dengan massa molekul yang lebih kecil. Spektrofotometer massa terdiri dari pengion (ionizer), lensa, kuadrupe, dan detektor. Pengion akan mengionisasi molekul sampel dalam sumber ion (Ratnaningsih, 2000).

GC-MS merupakan gabungan dari dua instrumen analisis, yaitu kromatografi gas dan spektrofotometri massa sehingga menjadi sebuah instrumen yang sangat efektif untuk analisis (Baugh, 1993). Spektrofotometer massa merupakan detektor universal sehingga GC-MS dapat digunakan untuk menganalisis berbagai jenis senyawa dan menjadikan perangkat analisis ini menjadi salah satu instrumen dengan penggunaan yang sangat luas. Alat ini semakin populer digunakan dalam analisa dibidang kimia organik, ilmu kedokteran, farmasi dan dalam bidang lingkungan. Alat ini juga dilengkapi dengan sistem kepustakaan senyawa kimia, sehingga identifikasi senyawa kimia dapat dilakukan dengan cepat tanpa bantuan instrumen lainnya, seperti spektrofotometri inframerah dan spektrofotometri magnet inti (Torres, 2005).

2.9.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati dan menganalisis karakteristik struktur mikro dari bahan padat yang konduktif maupun yang nonkonduktif. Sistem pencahayaan pada SEM menggunakan radiasi elektron yang mempunyai $\lambda = 200 - 0,1 \text{ \AA}$, daya pisah (resolusi) yang tinggi sekitar 5 nm sehingga dapat dicapai perbesaran hingga ± 100.000 kali dan menghasilkan gambar atau citra yang tampak seperti tiga dimensi karena mempunyai *depth of field* yang tinggi. Sehingga SEM mampu menghasilkan gambar atau citra yang lebih baik dibandingkan dengan hasil mikroskop optik. Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*) atau WDS (*Wavelength Dispersive X-ray Spectrometer*) (Handayani *et al.*, 2004).

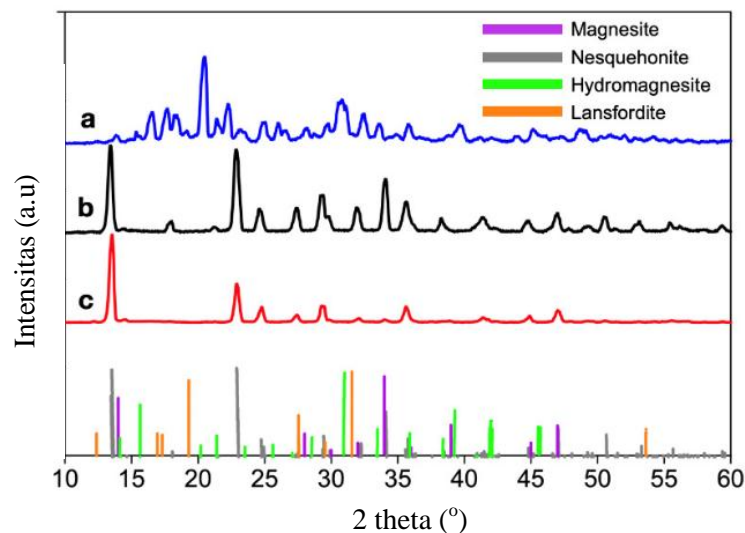


Gambar 12. Analisis SEM MgCO_3 (Chen *et al.*, 2020).

2.9.4 X-Ray Diffraction (X-RD)

Metode difraksi sinar-X adalah metode yang didasarkan pada difraksi radiasi elektromagnetik yang berupa sinar-X oleh suatu kristal. Sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang pendek yaitu $0,5 - 2,5 \text{ \AA}$. Sinar-X dihasilkan dengan cara menembakkan suatu berkas elektron berenergi tinggi ke suatu target dan menunjukkan gejala difraksi jika jatuh pada benda yang jarak antar bidangnya kira-kira sama dengan panjang gelombangnya pada suatu bidang dengan sudut θ (Cullity, 1987).

Pada 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. Sinar-X yang mengenai suatu bahan akan dipantulkan sehingga menghasilkan spektrum pantulan yang spesifik dan berhubungan langsung dengan kisi kristal yang dianalisis. Pada penelitian ini, uji difraksi dilakukan untuk mempelajari struktur dan karakteristik dari kerak magnesium karbonat (MgCO_3). Contoh hasil analisis XRD pada kristal MgCO_3 seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



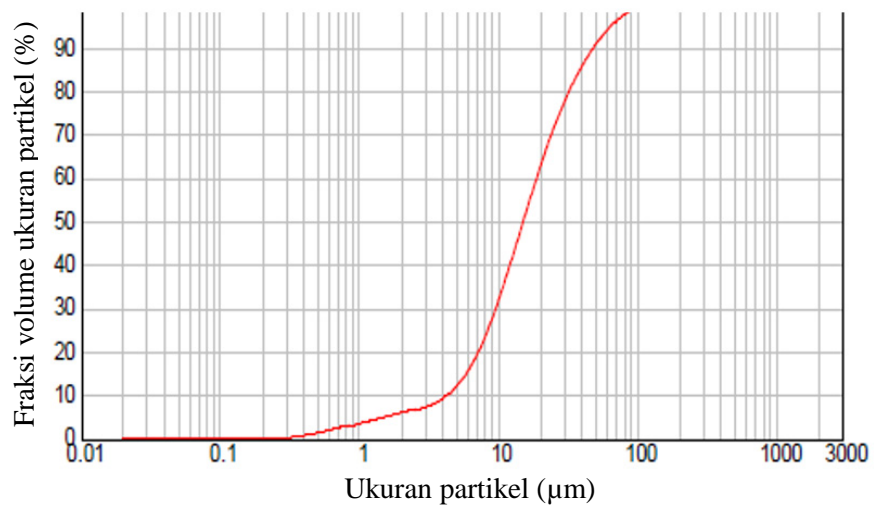
Gambar 13. Analisis XRD MgCO₃ (Stopic *et al.*, 2019).

2.9.5 Particle Size Analyzer (PSA)

Analisis ukuran partikel adalah sebuah sifat fundamental dari endapan suatu partikel yang dapat memberikan informasi tentang asal dan sejarah partikel tersebut. Distribusi ukuran juga merupakan hal penting seperti untuk menilai perilaku granular yang digunakan oleh suatu senyawa atau gaya gravitasi. Diantara senyawa-senyawa dalam tubuh hanya ada satu partikel yang berkarakteristik dimensi linear. Partikel irregular memiliki banyak sifat dari beberapa karakteristik dimensi linear (James *and* Syvitski, 1991).

Perhitungan partikel secara modern umumnya menggunakan analisis gambar atau beberapa jenis penghitung partikel. Gambar didapatkan secara tradisional dengan mikroskop elektron atau untuk partikel yang lebih kecil menggunakan SEM (James *and* Syvitski, 1991). Distribusi ukuran partikel dihitung dari hasil pengukuran. Difraksi sinar laser analisis ukuran partikel meliputi perangkat laser untuk menghasilkan sinar laser ultraviolet sebagai sumber cahaya dan melekatkan atau melepaskan *flourescent* untuk mengetahui permukaan *photodiode array* yang menghitung distribusi intensitas cahaya spasial dan penyebaran cahaya

selama terjadinya pengukuran (Totoki *et al.*, 2007). Contoh hasil analisis PSA pada kristal MgCO_3 seperti ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Analisis PSA MgCO_3 (Stopic *et al.*, 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Anorganik Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Agustus 2021 sampai Januari 2022. Analisis menggunakan instrumen Spektrofotometer FT-IR dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di Laboratorium Unit Pelaksana Teknik Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung, analisis menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada, analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Sentra Universitas Padjajaran dan analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Sepuluh November.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu alat-alat gelas, *waterbath*, gelas-gelas plastik, *magnetic stirrer*, oven, pH meter dan neraca analitik, spektrofotometer IR, GC-MS, SEM, PSA, dan XRD. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu $MgCl_2$, $NaHCO_3$, akuades, kertas saring, ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan ekstrak gambir

Ekstrak gambir dibuat dengan cara menghaluskan gambir padat dengan cawan hingga halus, sehingga diperoleh serbuk gambir. Sebanyak 0,25 gram serbuk gambir dilarutkan dalam 1 L akuades. Larutan diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 3 jam dengan suhu 90°C dan kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh merupakan ekstrak gambir dengan konsentrasi 250 ppm. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada ekstrak gambir, ekstrak gambir dianalisis menggunakan spektrofotometer IR. Selain itu ekstrak gambir dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui komponen senyawa kimianya (Suharso, *et al.*, 2010).

3.3.2 Pembuatan asap cair tempurung kelapa *grade 2*

Asap cair tempurung kelapa *grade 2* yang dihasilkan dari proses destilasi asap cair *grade 3* dengan variasi konsentrasi 50, 150, 250, 350, dan 450 ppm. Pembuatan larutan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan konsentrasi 50 ppm dilakukan dengan cara mengencerkan 50 mL asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan akuades dalam labu ukur hingga tanda tera, lalu dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 150, 250, 350, 450 ppm. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada asap cair tempurung kelapa *grade 2* dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR. Selain itu asap cair tempurung kelapa *grade 2* dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui komponen senyawa kimianya (Suharso *et al.*, 2010).

3.3.3 Pembuatan inhibitor campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*

Larutan inhibitor dibuat dengan cara mencampurkan 200 mL ekstrak gambir dengan 200 mL asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan perbandingan konsentrasi yang bervariasi. Perpaduan ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* diuji efektivitasnya dengan memvariasikan konsentrasi campuran ekstrak gambir dengan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dimana konsentrasi ekstrak gambir dibuat tetap. Perbandingan konsentrasi campuran asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat dilihat pada Tabel 3. Larutan campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 15 menit dengan suhu 90°C dan didinginkan kemudian disimpan dalam botol gelap. Masing-masing campuran diuji efektivitasnya dalam menghambat pembentukan kerak MgCO₃.

Tabel 3. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*

Perbandingan Inhibitor G : A	Konsentrasi Ekstrak Gambir (ppm)	Konsentrasi asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> (ppm)
5 : 1	250	50
5 : 3	250	150
5 : 5	250	250
5 : 7	250	350
5 : 9	250	450

Uji efektivitas inhibitor campuran dilakukan pada larutan pertumbuhan yang dibuat dari larutan 0,2 M MgCl₂ dan larutan 0,2 M NaHCO₃. Setelah didapatkan efektivitasnya, perbandingan konsentrasi campuran yang memiliki efektivitas terbesar digunakan sebagai inhibitor kerak MgCO₃ pada penelitian ini. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor campuran ini dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR (Suharso *et al.*, 2010).

3.3.4 Pengujian penggunaan campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor pembentukan kristal MgCO_3 dengan metode *unseeded experiment*

Tahapan untuk menguji campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor dalam pembentukan kristal MgCO_3 dengan metode *unseeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut:

3.3.4.1 Pengujian pembentukan kristal MgCO_3 tanpa penambahan inhibitor

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,2 M MgCl_2 dan larutan 0,2 M NaHCO_3 masing-masing dalam 200 mL akuades, kemudian diletakan dalam *magnetik stirer* dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu 60°C selama 15 menit. Kemudian, kedua larutan tersebut dicampurkan dan diukur pH-nya. Setelah kedua larutan tersebut dicampurkan, larutan dibagi ke dalam 6 botol plastik dimana setiap botol berisi 50 mL larutan pertumbuhan. Larutan tersebut kemudian diletakan ke dalam *waterbath* pada suhu 60°C . Pengamatan dilakukan selama 65 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya diambil setiap 10 menit) kemudian ditimbang berat kristal yang terbentuk dengan cara menyaring larutan dalam botol tersebut menggunakan kertas saring, dicuci dengan akuades, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan MgCl_2 dan NaHCO_3 sebesar 0,3 dan 0,4 M (Suharso *et al.*, 2010).

3.3.4.2 Pengujian pembentukan kristal MgCO_3 dengan penambahan inhibitor

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,2 M MgCl_2 dan larutan 0,2 M NaHCO_3 dalam inhibitor campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan konsentrasi perbandingan yang paling optimum atau memiliki efektivitas terbesar. Campuran ekstrak gambir dan asap cair

tempurung kelapa *grade 2* ditambahkan pada masing-masing larutan hingga mencapai volume 200 mL, diletakkan dalam *magnetik stirer* dan diaduk menggunakan pengaduk magnet pada suhu 60°C selama 15 menit. Kemudian, kedua larutan tersebut dicampurkan dan diukur pH-nya. Setelah kedua larutan tersebut dicampurkan, larutan dibagi ke dalam 6 botol plastik di mana setiap botol berisi 50 mL larutan pertumbuhan. Larutan tersebut kemudian diletakkan ke dalam *waterbath* pada suhu 60°C. Pengamatan dilakukan selama 65 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya diambil setiap 10 menit) kemudian ditimbang berat kristal yang terbentuk dengan cara menyaring larutan dalam botol tersebut menggunakan kertas saring, dicuci dengan akuades, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan MgCl_2 dan NaHCO_3 sebesar 0,3 dan 0,4 M (Suharso *et al.*, 2010).

3.3.5 Pengujian penggunaan campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor pembentukan kristal MgCO_3 dengan metode *seeded experiment*

Tahapan untuk menguji campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor dalam pembentukan kristal MgCO_3 dengan metode *seeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut:

3.3.5.1 Preparasi bibit kristal MgCO_3

Bibit kristal dibuat dengan mencampurkan larutan 1 M MgCl_2 dan larutan 1 M NaHCO_3 masing-masing dalam 250 mL akuades, kemudian diaduk menggunakan *magnetik stirer* pada suhu 60 °C selama 15 menit. Kemudian endapan dipisahkan dengan kertas saring dan endapan dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam (Suharso *et al.*, 2009).

3.3.5.2 Pengujian pembentukan kristal MgCO_3 tanpa penambahan inhibitor

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,2 M MgCl_2 dan larutan 0,2 M NaHCO_3 masing-masing dalam 200 mL akuades, kemudian diaduk menggunakan *magnetik stirer* pada suhu 60°C selama 15 menit. Kemudian, kedua larutan tersebut dicampurkan dan diukur pH-nya. Setelah kedua larutan tersebut dicampurkan, larutan dibagi ke dalam 6 botol plastik di mana setiap botol berisi 50 mL larutan pertumbuhan dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal. Setelah itu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama 65 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya diambil setiap 10 menit). Kemudian dilakukan penyaringan dengan menggunakan kertas saring, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan MgCl_2 dan NaHCO_3 sebesar 0,3 dan 0,4 M. Endapan yang terbentuk ditimbang, kemudian dipilih yang paling efektif dan dianalisis menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi kristalnya, struktur dan karakteristik kristal dianalisis menggunakan XRD, dan distribusi ukuran partikel dalam endapannya menggunakan PSA (Suharso *et al.*, 2010).

3.3.5.3 Pengujian pembentukan kristal MgCO_3 dengan penambahan inhibitor

Larutan pertumbuhan dibuat dengan cara melarutkan 0,2 M MgCl_2 dan 0,2 M NaHCO_3 masing-masing dalam inhibitor campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan konsentrasi perbandingan yang paling optimum atau memiliki efektivitas terbesar. Campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* ditambahkan pada masing-masing larutan hingga mencapai volume 200 mL. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan *magnetik stirer* selama 15 menit dengan suhu 60°C untuk menghomogenkan larutan (Suharso *et al.*, 2009).

Selanjutnya, kedua larutan tersebut dicampur agar terbentuk kerak MgCO_3 dan diukur nilai pH-nya kemudian dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik masing-masing 50 mL dan ditambahkan 0,2 g bibit kristal, lalu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$. selama 65 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya di ambil setiap 10 menit). Kemudian larutan dalam gelas tersebut disaring menggunakan kertas saring, dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu $105\text{ }^\circ\text{C}$ selama 3 jam. Selanjutnya, endapan tersebut ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan MgCl_2 dan NaHCO_3 sebesar 0,3 dan 0,4 M. Endapan yang terbentuk ditimbang, kemudian dipilih yang paling efektif dan dianalisis menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi kristalnya, struktur dan karakteristik kristal dianalisis menggunakan XRD, dan distribusi ukuran partikel dalam endapannya menggunakan PSA (Suharso *et al.*, 2010).

3.4 Analisa Data

Data yang diperoleh berupa jumlah endapan terhadap waktu dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing akan diplot sebagai jumlah endapan terhadap waktu menggunakan Microsoft Excel. Nilai *slope* yang diperoleh dari masing-masing grafik merupakan pertumbuhan kerak MgCO_3 . Morfologi kerak MgCO_3 sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan SEM. Perubahan ukuran partikel MgCO_3 sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan PSA. Struktur kristal MgCO_3 sebelum dan sesudah penambahan indikator dianalisis dengan XRD (Suharso *et al.*, 2009).

Untuk mengetahui efektivitas inhibitor dalam menghambat laju pembentukan endapan MgCO_3 dapat menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Patel (1999) seperti di bawah ini :

$$\text{Efektivitas inhibitor (\%)} = 100\% \times \frac{(Ca-Cb)}{(Cc-Cb)} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 1})$$

dimana :

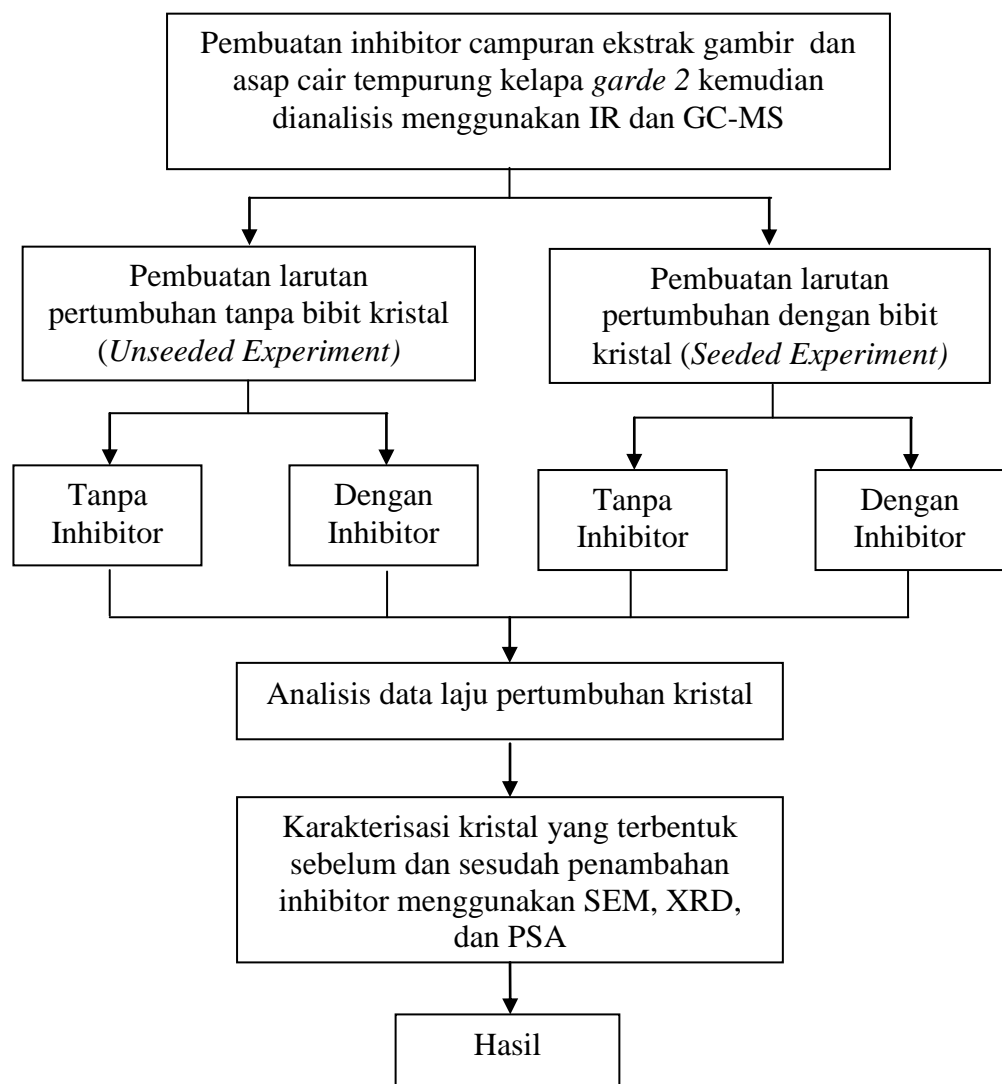
Ca = Konsentrasi MgCO_3 setelah ditambahkan inhibitor saat kesetimbangan (g/L)

Cb = Konsentrasi MgCO_3 tanpa inhibitor saat kesetimbangan (g/L)

Cc = Konsentrasi MgCO_3 awal (g/L)

3.5 Diagram Alir Penelitian

Secara keseluruhan penelitian ini terangkum dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 15.



Gambar 15. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Senyawa campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat digunakan sebagai alternatif inhibitor kerak $MgCO_3$. Hal ini terlihat dengan menurunnya pertumbuhan kerak $MgCO_3$ setelah ditambahkan campuran ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*.
2. Ekstrak gambir dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* pada perbandingan konsentrasi campuran 5 : 9 sebagai inhibitor pembentukan kerak $MgCO_3$ memiliki keefektifan tertinggi yaitu sebesar 95,41% pada larutan pertumbuhan 0,050 M menggunakan metode *unseeded experiment*.
3. Analisis menggunakan PSA menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kerak $MgCO_3$ mengalami penurunan setelah ditambahkan inhibitor GA (5 : 9) dapat dilihat dari rata-rata dan nilai tengah ukuran partikel kerak $MgCO_3$.
4. Hasil pengamatan dengan SEM menunjukkan perubahan yang signifikan antara kerak $MgCO_3$ tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor GA (5 : 9). Morfologi kerak $MgCO_3$ dengan penambahan inhibitor GA (5 : 9) memiliki ukuran lebih kecil dan tipis dibandingkan dengan morfologi kerak $MgCO_3$ tanpa penambahan inhibitor.
5. Hasil pengamatan dengan XRD menunjukkan perubahan struktur kristal $MgCO_3$. Analisis XRD menunjukkan penurunan intensitas pada beberapa puncak difraksi 2θ yang artinya terjadi kerusakan struktur kristal $MgCO_3$.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran agar perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak MgCO_3 dengan menggunakan variasi waktu dan konsentrasi inhibitor, serta menggunakan variasi inhibitor yang lain baik dengan metode *unseeded experiment* maupun *seeded experiment* dalam proses pencegahan kerak. Selain itu perlu dilakukannya penelitian untuk mengetahui mekanisme secara kimia pada proses inhibisi oleh inhibitor.

DAFTAR PUSTAKA

- Addicott, J.F., Aho, J.M., Antolin, M.F., Padilla, D.K., Richardson, J.S. and Soluk, D.A. 1987. Ecological Neighborhoods: Scaling Environmental Patterns. *Oikos*. **49**. Pp: 340-346.
- Alahmad, M. 2008. Factors affecting scale formation in sea water environment sear experimental approach. *Chem. Eng. Tech.* **31**. Pp: 149-156.
- Al-Deffeeri, N. S. 2006. Heat transfer measurement as a criterion for performance evaluation of scale inhibition in MSF plants in Kuwait. *Desalination*. **204**. Pp: 423-436.
- Alen, Y.E., Rahmayuni, A., dan Bakhtiar. 2004. Isolasi Senyawa Bioaktif Antinematoda *Bursaphelenchus xylophilus* dari Ekstrak Gambir. *Seminar Nasional Tumbuhan Tanaman Obat Indonesia XXVI*. Padang.
- Amjad, Z. 1995. Kinetics of Crystal Growth of Calcium Sulfate Dihydrate, the Influence of Polymer Composition, Molecular Weight, and Solution pH. *Can. J. Chem.* **66**. Pp: 1529-1536.
- Amor, M. B., Zgolli, D., Tlili, M. M. and Manzola, A. S. 2004. Influence of water hardness, substrate nature and temperature on heterogeneous calcium carbonate nucleation. *Desalination*. **166**. Pp: 79-84.
- Ariyanto, E. 2013. *Crystallisation and Dissolution Studies of Struvite in Aqueous Solutions*. Curtin University. Australia.
- Armenia, A. S., and Arifin. 2004. Toksisitas Ekstrak Gambir Terhadap Organ Ginjal, Hati, dan Jantung Mencit. *Seminar Nasional Tanaman Obat Indonesia*. Padang
- Asnawati. 2001. Pengaruh Temperatur terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak. *J. Il. Das.* **2**. Pp: 1-20.
- Badr, A., and Yassin, M.A.A. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *J. App. Sci.* **7**. Pp: 2393-2403.

- Basim O. H., Graham J.N., Peter J.A. and Richard A. C. 2012. The Effects of temperature and Hydrodynamics on The Crystallization Fouling Under Cross Flow conditions. *J. Ther. Eng.* **36**. Pp: 210-218.
- Baugh, P.J. 1993. Gas Chromatography: A Pratical Approach. *Oxford University Press*. Pp: 11-21
- Bénézech, P., Saldi, G., and Dandurand, J. 2011. Experimental determination of the solubility product of magnesite at 50 to 200 °C. *Chem. Geo.* **286**. Pp: 21-31.
- Bhatia, A. 2003. Cooling Water Problems and Solutions. *Continuing Education and Development, Inc.* 9 Greyridge Farm Court Stony Point, NY 10980. Course no: M05-009.
- Chen, Q., Hui, T., Sun, H., Peng, T. and Ding., W. 2020. Synthesis of magnesium carbonate hydrate from natural talc. *Op. Chem.* **18**. Pp: 951-961.
- Cowan, J.C.,and Weintritt, D.J. 1976. *Water-Formed Scale Deposit*. Gulf Co. Huston. Texas. PP: 76-92.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A. and King, G. 1999. Fighting scala removal and prevention. *Oilfield Review*. **11**. Pp: 30-45.
- Cullity, B. D. 1987. Element of X-Ray Difrraction. Addison-Wisley. *Publishing Company.Inc.* New York. Pp: 493-496.
- Dong, M., Cheng, W., Li, Z. and Demopoulos, G.P. 2008. Solubility and Stability of Nesquehonite ($MgCO_3 \cdot 3H_2O$) in NaCl, KCl, $MgCl_2$, and NH_4Cl Solutions. *J. Chem. Eng.* **53**. Pp: 2586-2593.
- Duccini, Y., Dufour, A., Harm, W. M., Sanders, T. W. and Weinstein, B. 1997. *High performance oilfield scale inhibitors*. In: Corrosion97. Nace International. New Orleans. Los Angles. NACE-97169
- Gabriel, B. 1985. *SEM : A User's Manual for Material Science*. American Society for Metal. Pp: 40.
- Gill, J. S. 1999. A Novel Inhibitor For Scale Control in Water Desalination. *Desalination*. **124**. Pp: 43-50.
- Gourdon. 2011. The Effects of Flow Velocity on Crystallization Fouling in Falling Film Black Liquor Evaporators. *Proceeding of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning*. **4**. Pp: 23-30.
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*. FMIPA-USU. Medan.

- Handayani, D., Ranova, R., Bobbi, H., Farlian, A., Almahdi, and Arneti. 2004. Pengujian Efek Anti Feedan dari Ekstrak dan Fraksi Daun Gambir (*Uncaria gambir* Roxb) terhadap Hama Spedopteralitura Fab.(Lepidoptera; Noctuide). *Seminar Nasional Tumbuhan Tanaman Obat Indonesia XXVI*. Padang.
- Hayani, E. 2003. Buletin Teknik Pertanian. *Balai Penelitian Tananman Rempah dan Obat*. **8**. Pp: 31-33.
- He, S., Kan, A. T. and Tomson, M. B. 1999. Inhibition of Calcium Carbonate Precipitation in NaCl Brines from 25 to 90°C. *App. Geochem.* **14**. Pp: 17-25.
- Holysz, L., Szczes, A. and Chibowski, E. 2007. Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions. *J. Col. Int. Sci.* **316**. Pp: 996-1002.
- James P. M. Syvitski. 1991. *Principles, Methods, and Application of Particle Size Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jayanudin dan E. Suhendi. 2012. Identifikasi Komponen Kimia Asap Cair Tempurung Kelapa dari Wilayah Anyer Banten. *J. Agro.* **1**. Pp: 3946.
- Kemmer, F. N. 1979. *The Nalco Water Hand Book*. Nalco Chemical Co. McGraw Hill Book CO. New York. **20**. Pp: 1-19.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta. Pp: 194-196.
- Kolodynska, D., Hubicki, Z., and Geca, M. 2008. Application of a new-generation complexing agent in removal of heavy metal ions from aqueous solutions. *Ind. Eng. Chem.* **47**. Pp: 3192-3199.
- 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.
- Kusharyono. 2004. Efek Infus Gambir (*U. Gambir R*) yang Diperoleh dari Pasar Terhadap Sistem Syaraf Otonom Mencit Jantan. *Seminar Nasional Tumbuhan Obat Indonesia*. Padang
- Leofanti, G. 1997. Catalyst Characterization. *App. Cat.* **34**. Pp: 329-352.

- Lestari, D. E., Sunaryo, G. R., Yulianto, Y. E., Alibasyah, S., dan Utomo, S. B. 2014. 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.
- Luditama, C. 2006. Isolasi dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar Tempurung Kelapa Secara Pirolisis dan Destilasi. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Ma, H., Chen, S., Zhao, S., Liu, X. and Li. D. 2001. A study of corrosion behavior of copper in acidic solutions containing cetyltrimethylammonium bromide. . *J. Elec.* **148**. Pp: 482-488.
- Mandela, B. S. 2017. Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat $MgCO_3$ Pada Laju Alir 30 ml/menit dengan Konsentrasi Mg^{2+} 3000 ppm dan 4000 ppm. *TRAKSI : Majalah Ilmiah Teknik Mesin.* **17**. Pp: 26-39.
- Manoli, F., Kanakis, J., Malkaj, P. and Dalas, E. 2003. The Effect of Amino Acids on The Crystal Growth of Calcium Carbonate. *J. Cry. Gro.* **53**. Pp: 105-111.
- Martinod, A., Euvrard, M., Foissy, A. and Neville, A. 2007. Progressing the understanding of chemical inhibition of mineral scale by green inhibitors. *Desalination.* **220**. Pp: 345352.
- McNair, H.M., dan E.J. Bonelli. 1998. *Dasar Kromatografi Gas*. Penerbit ITB Bandung. Bandung. Pp: 1 -173.
- Muryanto, S., Bayuseno, A.P., Sediono, W., Mangestiyono, W. and Sutrisno. 2012. 'Development of a versatile laboratory project for scale formation and control'. *Edu. Chem. Eng.* **7**. Pp: 78-84.
- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Ma'mun, H. and Usamah, M. 2014. Calcium carbonate scale formation in pipes: effect of flow rates, temperature, and malic acid as additives on the mass and morphology of the scale. *Pro. Chem.* **9**. Pp: 69-76.
- Natasha, N.C., Irawan, J., Sulistiyono, E., Yunita, F.E. and Rhamdani, A.R. 2019. Uji Karakteristik Magnesium Karbonat Sintetis Dari Mineral Dolomit. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Nurhasanah, E. 2008. Perancangan Alat untuk Membuat Asap Cair dari Tempurung Kelapa dan Karakterisasinya. *Tesis*. Pascasarjana Kimia Institut Teknologi Bandung. Bandung.

- Patel, S., Finan, M. A. 1999. New antifoulants for deposit control in MSF and MED plants. *Desalination*. **124**. Pp: 63-74.
- Patton, C. 1981. *Oilfield Water System*. 2 ed. Cambridge Petroleum Series. Oklahoma. Pp: 49-79.
- Rabizadeh, T., Caroline., Reacock and Liane G. B. 2014. Carboxylic acid : Effective for Calcium Sulfate Precipitation. *Mineralogical Magazine*. **78**. Pp: 1465-1472.
- Rachmat E.H. 2004. *Analisi Senyawa Volatil dalam Ikan Tongkol dengan Metode Heatspace Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography Mass Spectrometry (HS-SPME/GC-MS)*. Universitas Lampung. Pp: 26.
- Raharjo S., Bayuseno, A.P., Jamarib, J. M., and Muryanto, S. 2016. Calcium carbonate scale formation in copper pipes on laminar flow. *Mat. Con*. **58**. Pp: 1029.
- Raharjo, S. 2020. *Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral Di Dalam Pipa*. Universitas Muhamadiyah Semarang. Semarang.
- Ratna, P., S. 2011. *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*. Fakultas Teknik UI. Depok.
- Ratnaningsih, D. 2000. *Pengetahuan Umum Tentang Kromatografi Gas Spektrometri Massa (GCMS)*. Puser Pedal-Bapedal. Jakarta.
- Rizal, W.A., Nisa, K., Maryana, R., Prasetyo, D. J., Pratiwi, D., Jatmiko, T. H., Ariani, D., and Suwanto, A. 2020. Chemical composition of liquid smoke from coconut shell waste produced by SME in Rongkop Gunungkidul. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Pp: 462.
- Salimin, Z., dan Gunandjar. 2007. Penggunaan EDTA sebagai Pencegah Timbulnya Kerak pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair. *Prosiding HALIPDIPTN*. Pustek Akselerator dan Proses Bahan. BATAN. Yogyakarta.
- Sari, T.S. dan Bayuseno, A.P. 2015. Analisis Pembentukan Kerak Di Dalam Pipa Pdam Semarang. *J. Tek. Mes*. Pp: 65-74.
- Sikirić, M.D. and Milhofer, H.F. 2006. The Influence of Surface Active Molecules on the Crystallization of Biominerals in Solution. *Adv. Coll. Inter. Sci*. Pp: 135–158.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., and Crouch, S. R. 2007. *Principles of Instrumental Analysis*. Thomson Higher Education. USA. Pp: 461.

- Sousa, M.F. and Bertran, C.A. 2014. New methodology based on static light scattering measurements for evaluation of inhibitors for in bulk crystallization. *J. Coll. Inter. Sci.* Pp: 57-64.
- Stopić, S., Dertmann, C., Koiwa, I., Kremer, D., Wotruba, H., Etzold, S., Telle, R., Knops, P. and Friedrich, B. 2019. Synthesis of Nanosilica via Olivine Mineral Carbonation under High Pressure in an Autoclave. *Metals.* **9**. Pp: 708.
- Suharso. 2004. Effect of Sodium Lauryl Sulphate (SLS) on Growth Rate and Morphology of Borax Crystals. *J. Sains Tek.* **10**. Pp: 165-172.
- Suharso, W., dan Hadi, S. 2005. Pengaruh $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ terhadap pembentukan inti kristal kalsium karbonat (CaCO_3). *J. Ilmiah MIPA.* **8**. Pp: 37-41.
- Suharso. 2007. Effect of Sodium Dodecylbenzenesulfonic Acid (SDBS) on the Growth Rate and Morphology of Borax Crystal. *Ind. J. Chem.* **7**. Pp: 5 – 9.
- Suharso, Buhani, Suhartati, T. dan Aprilia. 2007. Uji Coba Aditif Pada Pengendapan Kristal dengan Penambahan Bibit Kristal dan Tanpa Penambahan Bibit Kristal. *Laporan Penelitian Universitas Lampung.* Lampung.
- Suharso, Buhani, T. Suhartati, dan L. Aprilia. 2007. Sintesis C- Metil-4,10,16,22 Tetrametoksi Kaliks[4]Arena dan Peranannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Laporan Akhir Program Insentif. Universitas Lampung.* Bandar Lampung.
- Suharso, Parkinson, G and Ogden, M. 2007. Effect of Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) on the Growth Rate and Morphology of Borax Crystals. *J. App. Sci.* **7**. Pp: 1390-1396.
- Suharso, Parkinson, G. and Ogden, M. 2008. AFM Investigation of Borax (100) Face: Two-Dimensional Nucleation Growth. *Adv. Natu. App. Sci.* **2**. Pp: 135-141.
- Suharso dan Buhani. 2009. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *J. Nat. Ind.* **13**. Pp: 100-104.
- Suharso, Buhani, and T. Suhartati. 2009. Peranan C-Metil-4,10,16,22-Tetrametoksi Kaliks[4]Arena Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Ind. J. Chem.* **9**. Pp: 206-210.

- 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. *As. J. Chem.* **3**. Pp: 183-187.
- Suharso, Buhani, Bahri, S. and Endaryanto, T. 2011. Gambier Extract as an Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) scale formation. *Desalination*. **265**. Pp: 102-106.
- Suharso dan Buhani. 2011. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *J. Nat. Ind.* **13**. Pp: 100-104.
- Suharso dan Buhani. 2012. *Penanggulangan Kerak*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. ISBN: 978-979-8510-52-6.
- Suharso, Buhani, dan L. Aprilia. 2013. Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena Dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, and L. Aprilia. 2014. Influence of Calix[4] Arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *As. J. Chem.* **26**. Pp: 6155–6158.
- Suharso, Buhani, S.D. Yuwono, and Tugiyono. 2017. Inhibition of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation by Calix[4] Resorcinarene Compounds. *Des. Wat. Treat.* **68**. Pp: 32-39.
- Suharso, Tiand Reno, Teguh Endaryanto, and Buhani. 2017. Modification of Gambier Extracts as Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *J. Wat. Proc. Eng.* **18**. Pp: 1-6.
- Suharso, Sabriani, N. A., Tugiyono, Buhani, and Teguh Endaryanto. 2017. Kemenyan (*Styrax benzoin* Dryand) extract as green inhibitor of calcium carbonate (CaCO_3) crystallization. *J. Wat. Proc. Eng.* **92**. Pp: 38-45.
- Suharso, Eka Setiosari, Kiswandono, A. A., Buhani, and Heri Satria. 2019. Liquid smoke of coconut shell as green inhibitor of calcium carbonate scale formation. *Des. Wat. Treat.* **169**. Pp: 29-37.
- Suharso dan Buhani. 2019. *Penghambat Kerak Ramah Lingkungan*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat. Universitas Lampung. ISBN: 978-623-228-044-1.
- Suharso, Buhani, Utami, H.R., Tugiyono, and Satria, H. 2019. Influence of gambier extract modification as inhibitor of calcium sulfate scale formation. *Des. Wat. Treat.* **169**. Pp: 22-28.

- Sukati, K. dan Kusharyono. 2004. Efek Infus Gambir (*U. Gambir R*) yang Diperoleh dari Pasar Terhadap Parameter Omset dan Durasi Waktu Tidur Tiopental pada Mencit Jantan. *Seminar Nasional Tumbuhan Obat Indonesia*. Padang.
- Supratman, U. 2010. *Ekiilibrium Penentuan Senyawa Organik*. Padjajaran. Bandung. Pp: 102-108.
- Torres, S.N.C. 2005. Improved Detection of TNT using SPME- TEEM-GC/MD Mode Immersion in Water dan Soil. *Thesis Master of Science*. University of Puerto Rico. Mayaguez Campus. Pp: 1-107.
- Totoki S, Wada Y, Moriya N, and Shimaoka H. 2007. DEP Active Grating Method: a New Approach for Size Analysis of Nano-Sized Particles. *Shimadzu Review*. **62**. Pp: 173-179.
- Tzotzi, C., T. Pahiadaki, S. G. Yiantsios, A. J. Karabelas, and N. Andritsos. 2007. A Study of CaCO₃ Scale Formation and Inhibition in RO and NF Membrane Processes. *Desalination*. **296**. Pp: 171-184.
- Unluer, C., and Al-Tabbaa, A. 2013. Characterization of light and heavy hydrated magnesium carbonates using thermal analysis. *J. Therm. Anal. Calorim*. **35**. Pp: 393-406.
- Utami, H. R. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO₄). *Tesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Viena, V., and Nizar., M. 2018. Studi Kandungan Fitokimia Ekstrak Etanol Daun Gambir Asal Aceh Tenggara Sebagai Anti Diabetes. *Ser. Eng*. **3**. Pp: 240-247.
- Wang, Y., Moo, Y. X., Chen, C., Gunawan, P. and Xu, R. 2010. Fast precipitation of uniform CaCO₃ nanospheres and their transformation to hollow hydroxyapatite nanospheres. *J. Coll. Inter. Sci*. **352**. Pp: 393-400.
- Webb, P. A. 2002. *Interpretation of Particle Size Reported by Different Analytical Technique*. Diakses melalui www.micromeritics.com. Pada tanggal 07 Juli 2021 Pukul 17.14 WIB.
- Yulistiani, R. 2008. *Monograf Asap Cair Sebagai Bahan Pengawet Alami Pada Produk Daging dan Ikan*. Cetakan Pertama, Edisi 1. UPN Veteran. Surabaya.
- Zhang, Y., and R. A. Dawe. 2000. Influence of Mg on the Kinetics of Calcite Precipitation and Calcite Crystal Morphology. *Chem. Geo*. **163**. Pp: 129-138.