

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

**(Skripsi)**

**Oleh**

**ALYAA FATHIA KESUMA**



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

## ABSTRAK

### STUDI PENAMBAHAN CAMPURAN LIMBAH CAIR TEMPE DAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2* SEBAGAI INHIBITOR KERAK MAGNESIUM KARBONAT ( $MgCO_3$ ) MENGGUNAKAN METODE *SEDED EXPERIMENT*

Oleh

**Alyaa Fathia Kesuma**

Pembentukan kerak yang terjadi pada komponen industri memberikan dampak secara teknis dan ekonomis. Kerak yang terbentuk seperti kerak magnesium karbonat ( $MgCO_3$ ) akan menjadi masalah yang serius pada perindustrian yang menggunakan air dalam sistem kerjanya. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dilakukan penambahan campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* (TA) sebagai inhibitor kerak  $MgCO_3$  menggunakan metode *seeded experiment*. Larutan pertumbuhan  $MgCO_3$  0,10; 0,15; 0,20 dan 0,25 M diujikan pada setiap variasi dengan perbandingan konsentrasi inhibitor campuran (TA) 1:3; 2:3; 3:3 dan 4:3. Perbandingan konsentrasi yang paling efektif yaitu pada konsentrasi 4:3 kemudian campuran inhibitor (TA) 4:3 divariasikan kembali menjadi konsentrasi 0,005; 0,010 dan 0,015%. Nilai persentase efektifitas yang paling tinggi yaitu pada perbandingan inhibitor campuran (TA) 4:3 dengan konsentrasi 0,015% terhadap larutan pertumbuhan dengan konsentrasi 0,10 M sebesar 64,78 %. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) setelah penambahan inhibitor, morfologi kristal  $MgCO_3$  menjadi berbentuk lembaran tipis pendek yang kecil dan lebih rapuh daripada tanpa penambahan inhibitor yang berbentuk lembaran panjang seperti kelopak bunga. Analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan fasa kristal  $MgCO_3$  yaitu *hydromagnesite* dan memiliki perbedaan intensitas sebelum dan sesudah penambahan inhibitor. Analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan adanya penurunan ukuran partikel kristal setelah ditambahkan inhibitor yakni memiliki nilai rata-rata (mean) dari 28,10  $\mu m$  menjadi 21,52  $\mu m$  dan nilai tengah (median) dari 14,41  $\mu m$  menjadi 9,34  $\mu m$ .

**Kata kunci** : asap cair tempurung kelapa, inhibitor, kerak, limbah cair tempe,  $MgCO_3$ .

## ABSTRACT

### THE STUDY OF ADDING A MIXTURE OF TEMPEH LIQUID WASTE AND GRADE 2 COCONUT SHELL LIQUID SMOKE AS A SCALE INHIBITOR FOR MAGNESIUM CARBONATE ( $MgCO_3$ ) WITH SEEDED EXPERIMENT METHOD

By

**Alyaa Fathia Kesuma**

The scale formation that occurs in industrial components has a technical and economic impact. Scale formed like magnesium carbonate scale ( $MgCO_3$ ) will be a serious problem in industries that use water in their work systems. Therefore, in this study a mixture of tempeh liquid waste and grade 2 coconut shell liquid smoke (TA) was added as a  $MgCO_3$  scale inhibitor using the seeded experiment method. Growth solution of  $MgCO_3$  0.10; 0.15; 0.20 and 0.25 M were tested for each variation of the concentration ratio of mixture inhibitor (TA) 1:3; 2:3; 3:3 and 4:3. The most effective concentration ratio was in the mixture inhibitor (TA) 4:3, then the mixture inhibitor (TA) 4:3 was varied again into concentrations of 0,005; 0,010 dan 0,015%. The highest percentage value for effectiveness was in the ratio of mixture inhibitor TA (4:3) with a concentration of 0,015% to the growth solution with a concentration of 0.10 M of 64.78%. Based on the results of analysis using Scanning Electron Microscopy (SEM) after the addition of the inhibitors, the morphology crystals of  $MgCO_3$  becomes in the form of short thin sheets that are smaller and more fragile than without the addition of inhibitors which are in the form of long sheets like flower petals. Analysis using X-Ray Diffraction (XRD) showed that the crystalline phase of  $MgCO_3$  was hydromagnesite and had different intensities before and after addition of the inhibitors. Analysis using the Particle Size Analyzer (PSA) showed a decrease in crystal particle size after addition of the inhibitors, which had an average value from 28.10  $\mu m$  to 21.52  $\mu m$  and the median value from 14.41  $\mu m$  to 9.34  $\mu m$ .

**Keywords** : coconut shell liquid smoke, inhibitor, tempeh liquid waste,  $MgCO_3$ , scale.

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

**Oleh**

**ALYAA FATHIA KESUMA**

**Skripsi**

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

**Pada**

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



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

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

Nama Mahasiswa : *Alyaa Fathia Kesuma*


Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011055


Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam


**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

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

  
**Prof. Dr. Buhani, M.Si.**  
NIP. 196904161994032003

2. Ketua Jurusan KIMIA FMIPA

  
**Mulyono, M.Si., Ph.D.**  
NIP. 197406112000031002

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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



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



Penguji : **Prof. Drs. John Hendri,, M.S., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam



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



Tanggal lulus ujian skripsi: **13 Juli 2023**

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alyaa Fathia Kesuma  
Nomor Pokok Mahasiswa : 1917011055  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

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

Bandar Lampung, Juli 2023



Alyaa Fathia Kesuma  
NPM 1917011055

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Alyaa Fathia Kesuma dilahirkan di Natar, Lampung Selatan pada 10 Januari 2002. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Bapak Alm.

Fatahuddin Kesuma dan Ibu Warmidianty. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Aisyah pada tahun 2007 dan melanjutkan ke Sekolah Dasar (SD) di SDIKT Robbi Rodhiyah dan selesai pada tahun 2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke

Sekolah Menengah Pertama (SMP) di MTs Negeri 2 Bandar Lampung pada tahun 2013 dan lulus pada tahun 2016, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di MA Negeri 1 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2019. Penulis aktif mengikuti kegiatan ekstrakurikuler pada saat menempuh pendidikan di SMA yang meliputi sebagai anggota aktif *English Club* dan *Science Club* pada periode 2017/2018 dan 2018/2019. Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan mahasiswa di lingkungan Fakultas MIPA. Tahun 2019 penulis memulai aktivitas organisasi sebagai Kader Muda Himaki (KAMI) kemudian menjadi anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila, penulis juga mengikuti kegiatan Karya Wisata Ilmiah yang diadakan oleh BEM FMIPA Unila tahun 2019 dan menjadi anggota Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) yaitu UKM Bidang Seni (UKM-BS). Tahun 2022, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata di Kelurahan Ketapang Raya, Kecamatan Panjang, Bandar



Lampung pada bulan Januari-Februari 2022 dan penulis telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul Studi Penambahan Limbah Cair Tempe sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat ( $MgCO_3$ ) dengan Metode *Seeded Experiment* di Laboratorium Anorganik/Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

MOTTO

***THERE IS ALWAYS A WAY NOT AN EXCUSE***

***The right chair for the right person***

***The best way to predict your future is to create it***

## SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, karunia dan limpahan ridho-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “Studi Penambahan Campuran Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* Sebagai Inhibitor Kerak Magnesium Karbonat ( $MgCO_3$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*” adalah salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Shalawat serta salam semoga tersampaikan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat dan umatnya semoga kita termasuk umat yang mendapatkan Syafa’atnya kelak di hari akhir amiin yarobbal’ alamin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak sedikit mengalami hambatan dan kesulitan, baik dalam penulisan kata-kata dan isi yang belum tersusun dengan baik, tetapi berkat dukungan, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak laporan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan teriring doa penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu mendengarkan doa dan mengabulkan doa penulis selama ini sepanjang hidup penulis dan melindungi penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini tepat waktu.
2. Kepada kedua orang tua penulis Bapak Alm. Fatahuddin Kesuma dan Ibu Warmidianty tercinta yang selalu tak henti-hentinya memberikan doa, dukungan, kasih sayang, nasihat, semangat, motivasi, dan materi untuk keperluan kuliah dan sekolah penulis. Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanan yang telah papa dan mama lakukan untuk Alyaa. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan hingga menuju surga-Nya, diberikan

kesehatan dan umur yang panjang agar bisa selalu mendampingi dan menyaksikan perjalanan hidup Alyaa untuk membahagiakan kalian kelak di dunia maupun di akhirat dan dimudahkan rezekinya untuk kita sekeluarga; Aamiin Allahuma Aamiin.

3. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, keikhlasan, dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi. Semoga Allah SWT membalas kebaikan bapak dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
4. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, kritik, saran, nasihat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan ibu dan memberikan kerberkahan kepada ibu;
5. Bapak Prof. Dr. John Hendri, M.S., Ph.D. selaku dosen pembahas dan pembimbing akademik, penulis mengucapkan terimakasih atas bimbingan, kritik, saran, nasihat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini serta ketersediaan bapak dalam memberikan bimbingan perkuliahan, nasihat yang bermanfaat kepada penulis. Semoga Allah membalas kebaikan dan memberikan keberkahan kepada bapak.
6. Bapak Mulyono, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung atas segala ilmu, pengalaman, motivasi dan nasihat selama perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan bapak dan ibu.
9. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung atas dukungan dan bantuan kepada penulis.
10. Mbak Liza Apriliya, S.Si. selaku laboran Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik yang telah banyak membantu penulis atas penyediaan alat di laboratorium selama penelitian ini berlangsung.

11. Rekan seperbimbingan research yaitu Maudi Cahya Muslimah dan Novani Aludra terima kasih sudah menjadi sahabat yang memberikan dukungan, motivasi, nasihat dan semangatnya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
12. Kakak-kakak senior *scale* Kak Yusuf, Kak Restu, Kak Sandi, Kak Nurul Rosadinah, Kak Putri, Kak Nurul Qomariyah, dan Kak Phirena terima kasih atas bantuan, arahan, dan dukungan sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Semoga Allah SWT selalu membalas dengan kebaikan yang tak ternilai.
13. Sahabat dan teman seperjuangan penulis yaitu Mhd. Afif Alim Nasution, Maudi Cahya Muslimah, Fatma Dita Budiarti, Selvia Anggraini Hasan, Febiana Nabila, Quntum Ramadina, Kak Natasha, Azzahra Zulfa Riswinda, Ahmad Barep Prayogo, Riski Pangestu, Rizky Hadi, Siti Khaniyatul Qolbiy serta kawan-kawan Jurusan Kimia 2019. Terimakasih telah memberikan semangat, dukungan, nasihat, bantuan, keceriaan yang selalu membuat penulis termotivasi untuk mengerjakan skripsi ini.
14. Seluruh teman-teman di Laboratorium Kimia Anorgank/Fisik atas bantuan dan dukungannya.
15. Seluruh mahasiswa kelas B yang telah memberikan bantuan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Seluruh keluarga besar mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung Angkatan 2019 yang telah memberikan semangat dan bantuannya secara moril maupun materil kepada penulis.
17. Seluruh pihak terkait yang membantu secara langsung dan tidak langsung serta dukungannya dalam bentuk materil dan moril sehingga penulis dapat menjalankan penelitian dan menyelesaikan skripsi ini dengan lancar.

Bandar Lampung, Juli 2023

Penulis,

Alyaa Fathia Kesuma

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Kerak .....	5
2.2 Pembentukan Kerak .....	7
2.3 Faktor Pembentukan Kristal.....	9
2.4 Mekanisme Pembentukan Kerak.....	13
2.5. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak.....	16
2.6 Mekanisme Penghambatan Kerak .....	20
2.6.1 Penghambat Ambang Batas .....	20
2.6.2 <i>Khelat</i> .....	20
2.6.3 Distorsi Kristal .....	21
2.6.4 Dispersi Kristal .....	21
2.7 Pengendapan Senyawa Anorganik .....	22
2.8 Limbah Cair Tempe .....	23
2.9 Bakteri Asam Laktat.....	25
2.10 Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> .....	26
2.11 Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	27
2.12 Magnesium Karbonat ( $MgCO_3$ ).....	28

2.13	Analisis dan Karakterisasi Kerak Magnesium Karbonat ( $MgCO_3$ )	29
2.13.1	Spektrofotometer <i>InfraRed</i> (IR)	30
2.13.2	<i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	31
2.13.3	<i>Particle Size Analyzer</i> (PSA)	32
2.13.4	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	33
2.13.5	<i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	35
2.13.6	<i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC)	35
<b>III.</b>	<b>METODE PENELITIAN</b>	<b>37</b>
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	37
3.2	Alat dan Bahan	37
3.3	Prosedur Kerja	38
3.3.1	Pembuatan Limbah Cair Tempe	38
3.3.2	Pembuatan Variasi Konsentrasi Inhibitor dari Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	39
3.3.3	Pembuatan Inhibitor dari Campuran Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	39
3.3.4	Pembuatan Bibit Kristal	40
3.3.5	Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal $MgCO_3$	40
3.4	Uji Ketahanan Inhibitor	42
3.5	Analisis Data	42
3.6	Diagram Alir	45
<b>IV.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>46</b>
4.1	Uji Ketahanan Inhibitor Campuran Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	47
4.2	Analisis Inhibitor Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> menggunakan Spektrofotometer Infra Merah (IR)	48
4.3	Analisis Inhibitor Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS)	50
4.4	Analisis Inhibitor Limbah Cair Tempe Menggunakan <i>High Performance Liquid Chromatography</i> (HPLC)	52
4.5	Penentuan Laju Pertumbuhan $MgCO_3$ Tanpa Penambahan Inhibitor menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i>	53
4.6	Penentuan Laju Pertumbuhan $MgCO_3$ Dengan Penambahan Inhibitor menggunakan Metode <i>Seeded Experiment</i>	55
4.6.1	Inhibitor Limbah Cair Tempe	56

4.6.2	Penentuan Efektivitas Campuran Inhibitor Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> .....	60
4.6.3	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal MgCO <sub>3</sub> dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Inhibitor Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> (4:3) dengan Metode <i>Seeded Experiment</i> .....	63
4.7	Analisis Kerak Magnesium Karbonat (MgCO <sub>3</sub> ) .....	67
4.7.1	Analisis Permukaan Kerak Kristal MgCO <sub>3</sub> Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	68
4.7.2	Analisis Struktur Kerak MgCO <sub>3</sub> Menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	70
4.7.3	Analisis Distribusi Ukuran Partikel MgCO <sub>3</sub> Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) .....	72
<b>V.</b>	<b>SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>76</b>
5.1	Simpulan.....	76
5.2	Saran.....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kerak yang dijumpai pada ladang minyak.....	6
2. Analisis kandungan hara dari limbah cair tempe .....	24
3. Hasil GC-MS komponen kimia asap cair tempurung kelapa grade 2.....	27
4. Perbandingan konsentrasi campuran limbah cair tempe (T) dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2 (A)</i> .....	40
5. Pengamatan uji ketahanan inhibitor .....	47
6. Gugus fungsi spektrum IR pada limbah cair tempe .....	50
7. Gugus fungsi spektrum IR pada asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> .....	50
8. Komponen asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> .....	51
9. Hasil optimasi asam laktat dari larutan standar limbah cair tempe pada pengulangan 1×, 2×, dan 3×.....	53
10. Nilai pH perbandingan konsentrasi inhibitor campuran TA .....	55
11. Nilai pH limbah cair tempe dengan variasi konsentrasi berbeda.....	56
12. Nilai pH larutan pertumbuhan MgCO <sub>3</sub> sebelum dan sesudah penambahan inhibitor limbah cair tempe .....	57
13. Data persentase efektivitas inhibitor limbah cair tempe .....	59
14. Nilai pH larutan pertumbuhan MgCO <sub>3</sub> sebelum dan sesudah penambahan inhibitor TA.....	61
15. Nilai pH larutan pertumbuhan sebelum dan sesudah penambahan inhibitor TA (4:3).....	65
16. Intensitas pola difraksi MgCO <sub>3</sub> tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor TA (4:3) .....	71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerak magnesium karbonat pada pipa .....	6
2. Tahapan kristalisasi .....	10
3. Diagram konsentrasi-temperatur ( <i>solubility</i> ) .....	12
4. Nukleasi homogen.....	14
5. Nukleasi heterogen.....	14
6. Skema mekanisme pembentukan deposit kerak air .....	15
7. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan.....	17
8. Mekanisme penghambatan inhibitor .....	22
9. Alur pembuatan tempe .....	23
10. Jenis asap cair tempurung kelapa .....	26
11. Skema kerja Spektrofotometer <i>InfraRed</i> (IR) .....	30
12. Skema bagan SEM .....	32
13. Skema dari instrumen XRD .....	34
14. Skema dari instrumen GC-MS .....	36
15. Skema dari instrumen HPLC .....	37
16. Diagram alir penelitian.....	45
17. Perubahan limbah cair tempe (a), campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> dengan berbagai perbandingan konsentrasi.....	47
18. Spektrum IR limbah cair tempe (a) dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> (b).....	48
19. Kromatogram asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> .....	50
20. Hasil analisis HPLC limbah cair tempe .....	53
21. Grafik laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$ tanpa penambahan inhibitor .....	54
22. Perbandingan laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$ pada inhibitor limbah cair tempe (a) 0,10 M (b) 0,15 M dan (c) 0,20 M. ....	58

23. Laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$ dengan inhibitor TA (a) 0,10 M (b) 0,15 M (c) 0,20 M dan (d) 0,25 M .....	61
24. Persentase efektivitas campuran inhibitor TA pada variasi larutan pertumbuhan $MgCO_3$ .....	62
25. Grafik laju pertumbuhan kerak $MgCO_3$ dengan inhibitor TA (4:3) pada larutan pertumbuhan (a) 0,10 M (b) 0,15 M dan (c) 0,20 M .....	64
26. Grafik persentase efektivitas inhibitor TA (4:3) pada variasi larutan pertumbuhan $MgCO_3$ .....	65
27. Perbandingan inhibitor limbah cair tempe sebelum dan sesudah penambahan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> dengan perbandingan TA (4:3) .....	66
28. Perbandingan larutan $MgCO_3$ 0,02 M (a) tanpa penambahan inhibitor (b) dengan penambahan inhibitor campuran TA 4:3 dengan konsentrasi 150 ppm.....	67
29. Perbandingan kerak $MgCO_3$ 0,10 M (a) tanpa inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor TA 4:3.....	68
30. Morfologi kerak $MgCO_3$ dengan perbesaran 5000x (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor TA (4:3) .....	69
31. Difraktogram kristal $MgCO_3$ (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor campuran TA (4:3).....	70
32. Hasil analisis PSA kerak $MgCO_3$ (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor campuran TA (4:3) .....	73

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri telah berlangsung di Indonesia dari dulu hingga saat ini. Sebagian besar industri menggunakan pipa sebagai saluran perpindahan zat dari satu tempat ke tempat lain atau disebut proses aliran fluida. Selain itu, sebagian besar industri di Indonesia juga menggunakan air dalam sistem kerjanya dan bisa dipastikan selalu memiliki permasalahan yang berhubungan dengan pembentukan kerak (*scaling*). Pengerakan terjadi pada komponen industri yang sangat kompleks, seperti industri minyak dan gas, industri desalinasi dan ketel, serta industri kimia lainnya. Selain itu, pembentukan kerak juga dapat terjadi pada alat-alat kondensor, pendingin, dan penukar panas (Jamailahmadi *and* Muller, 2007; Suharso *et al.*, 2009c; Suharso *et al.*, 2010; Suharso dan Buhani, 2011).

Komponen-komponen kerak yang sering dijumpai pada peralatan industri seperti kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), besi dioksida, mangan dioksida, dan magnesium pada konsentrasi tinggi dengan pH tinggi dan magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut berupa kualitas air, temperatur air, laju alir air, dan derajat lewat jenuh. Kerak dapat diartikan sebagai deposit dari senyawa anorganik yang terendapkan lalu menjadi kristal. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa peralatan industri akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut sehingga suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan pecah. Pembentukan kerak ini juga menyebabkan gangguan transfer panas serta korosi pada pipa aliran fluida. Selain itu, kerak yang mengendap pada permukaan *heat exchanger* akan mengurangi koefisien perpindahan panas,

sehingga meningkatkan biaya, baik investasi, operasi maupun perawatan. Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan akibat penimbunan kerak antara lain menyebabkan sumur pipa pada industri perusahaan minyak negara (Pertamina, Tbk) hanya berumur 10 tahun, sehingga perusahaan harus membuat kembali sumur pipa dengan biaya 6-7 juta dolar per sumur atau setara dengan 80-90 milyar rupiah. Akibatnya biaya dan kerugian yang ditimbulkan sangat besar untuk operasional biaya perawatan. Sehingga banyak perusahaan membuat penelitian untuk menanggulangi masalah ini, salah satu metode penanggulan kerak ini dengan menggunakan inhibitor kerak (Suharso *et al.*, 2010; Suharso *et al.*, 2014; Suharso *et al.*, 2017a; Suharso *et al.*, 2017b).

Kerak dapat dicegah menggunakan beberapa metode seperti melalui penambahan asam, menurunkan pH larutan, menggunakan senyawa-senyawa anorganik, polimer-polimer yang larut dalam air, asam amino, penggunaan inhibitor (*scale inhibitor*) (Suharso *et al.*, 2013). Metode inhibitor merupakan metode yang menarik untuk dikembangkan lebih lanjut karena biayanya relatif lebih murah dan memiliki efektivitas yang lebih tinggi serta dapat mencegah kerak dalam periode yang lama (Asnawati, 2001). Salah satu prinsip kerja dari *scale inhibitor* yaitu pembentukan senyawa kompleks (*khelat*) antara pencegah kerak dengan unsur-unsur pembentuk dari kerak. Senyawa kompleks yang terbentuk larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar dan dapat mencegah kristal kerak untuk melekat pada permukaan pipa (Patton, 1981). Metode pencegahan pembentukan kerak dengan inhibitor kerak lebih sering digunakan karena lebih efektif, stabil, murah, dan aman, dibanding metode lain yang dapat dilakukan seperti pengendalian pH dan pelunakan dan pembebasan mineral air (Cowan *and* Weintritt, 1976).

Salah satu inhibitor yang dapat digunakan untuk menghambat laju pertumbuhan kerak yaitu limbah cair tempe. Menurut penelitian Nugraha (2021), nilai efektivitas tertinggi inhibitor limbah cair tempe didapat pada konsentrasi larutan pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$  pada konsentrasi 0,05 M yaitu sebesar 73,88%. Limbah cair ini berasal dari rendaman kedelai yang sudah matang dan mengalami fermentasi secara alami dan apabila tidak dikelola dengan baik akan sangat

mengganggu lingkungan disekitarnya. Limbah cair tempe mengandung asam laktat yang diharapkan dapat digunakan sebagai inhibitor untuk menghambat laju pertumbuhan kerak. Bakteri asam laktat termasuk kelompok bakteri yang menghasilkan asam laktat sebagai produk utama dari fermentasi karbohidrat atau gula yang memiliki sifat aerotoleran. Namun, limbah cair tempe tidak memiliki daya simpan dalam waktu yang lama sehingga diperlukan campuran dari bahan lain yang dapat meningkatkan daya simpannya.

Inhibitor kerak organik bahan alam yang digunakan sebagai campuran inhibitor kerak ini yaitu asap cair tempurung kelapa *grade 2*. Penambahan inhibitor asap cair tempurung kelapa mampu menghambat pertumbuhan kristal  $\text{CaCO}_3$  sebesar 277,6% (Setiososari, 2018). Penggunaan beberapa jenis aditif dari golongan karboksilat seperti asam sitrat, asam oksalat, dan asam benzoat ini memberikan pengaruh terhadap laju pertumbuhan kristal kerak serta meningkatkan efektivitas inhibitor dari limbah car tempe. Penggunaan aditif yang efektif sebagai inhibitor mengakibatkan terjadinya perubahan konduktivitas menjadi lebih besar dan ukuran kristal menjadi lebih kecil dibandingkan tanpa menggunakan aditif, konsentrasi menentukan tingkat keefektifan aditif sebagai inhibitor (Suharso *et al.*, 2009c). Menurut penelitian sebelumnya, asap cair tempurung kelapa *grade 2* banyak mengandung senyawa fenolik, asam seperti asam asetat, asam butirat, dan asam propionat, serta mengandung karbonil (Darmadji, 1996). Nilai persen efektivitas tertinggi diperoleh pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,025 M pada kerak  $\text{CaCO}_3$  dengan menggunakan inhibitor asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebanyak 350 ppm dengan persentase sebesar 99,48% (Kurniawan, 2018).

Oleh karena itu, pada penelitian ini mempelajari efektifitas campuran dari limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor pembentukan kerak  $\text{MgCO}_3$  dengan metode *seeded experiment*. Metode *seeded experiment* termasuk metode pembentukkan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan yang dilakukan untuk mendorong terjadinya proses kristalisasi dengan lebih cepat karena area permukaan bibit

kristal akan mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Semakin cepat laju pertumbuhan inti kristal  $\text{MgCO}_3$  untuk membentuk kristal yang lebih besar disebabkan oleh semakin cepat terjadinya proses kristalisasi (Rahmania, 2012). Analisis kandungan limbah cair tempe dan asap cair kelapa *grade 2* menggunakan Spektrofotometri Infra Merah dan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) sedangkan analisis morfologi dari kerak  $\text{MgCO}_3$  menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) serta untuk mengetahui distribusi ukuran partikelnya akan diukur menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mempelajari pengaruh penambahan campuran dari limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor yang berpengaruh untuk menghambat pembentukan kerak  $\text{MgCO}_3$ .
2. Menentukan efektivitas campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak  $\text{MgCO}_3$ .
3. Memberi kontribusi pada upaya pengurangan polutan organik, khususnya limbah cair tempe di lingkungan perairan maupun daratan.

## 1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan efektivitas mengenai pengaruh dari penambahan campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak  $\text{MgCO}_3$  sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mencegah dan membantu penghematan biaya penggantian yang terjadi pada peralatan-peralatan industri serta mengurangi dampak negatif yang timbul akibat dari proses pembentukan kerak tersebut.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kerak

Kerak dapat didefinisikan sebagai deposit dari suatu senyawa anorganik yang terendapkan sehingga membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kemmer, 1979). Kerak berbentuk tumpukan keras dari bahan anorganik pada permukaan perpindahan panas akibat pengendapan partikel mineral yang ada dalam air (Bhatia, 2003). Pembentukan kerak yang terjadi pada sistem perpipaan dalam industri maupun rumah tangga akan menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis, ini disebabkan oleh kerak yang menyumbat aliran air pada pipa dan menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Kerak yang terbentuk pada pipa ini akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut (Shiddiq, 2014). Terbentuknya endapan kerak pada pipa-pipa industri juga dapat disebabkan oleh senyawa-senyawa pembentuk kerak dalam air memiliki jumlah yang lebih besar kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Kristal ini akan menghambat fluida untuk mengalir pada sistem pipa dan memungkinkan pipa mengalami kerusakan akibat tekanan yang semakin tinggi (Asnawati, 2001).

Komponen-komponen kerak yang dapat dijumpai diantaranya kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), kalsium fosfat ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), silika dengan konsentrasi tinggi, besi dioksida, besi fosfat (senyawa yang timbul akibat pembentukan lapisan film dari inhibitor fosfat), mangan dioksida (mangan teroksidasi tingkat tinggi), magnesium silika, silika dan magnesium pada konsentrasi tinggi dengan pH tinggi, dan magnesium karbonat (magnesium



dengan konsentrasi tinggi dan pH tinggi serta CO<sub>2</sub> tinggi) (Lestari, 2008). Kerak magnesium karbonat dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Kerak magnesium karbonat pada pipa (Mandela, 2017).

Kerak dapat terjadi di formasi, rangkaian pompa dalam sumur, lubang sumur, *tubing*, *flow line*, *casing*, *manifold*, tangki, separator, dan peralatan produksi lainnya. Jenis kerak yang sering ditemukan pada peralatan industri dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Kerak yang dijumpai pada ladang minyak (Syahri dan Sugiarto, 2008).

Nama	Rumus Kimia	Variabel Utama
Kalsium Karbonat (Kalsit)	CaCO <sub>3</sub>	Tekanan parsial CO <sub>2</sub> , Temperatur total garam terlarut
Kalsium sulfat Gypsum Hemi-hidrat Anhidrat	CaSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> . ½ H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub>	Temperatur, Total garam terlarut, Tekanan
Barium sulfat Strontium sulfat	BaSO <sub>4</sub> SrSO <sub>4</sub>	Temperatur, Total garam terlarut, Tekanan
Senyawa besi Besi karbonat Besi sulfit Besi hidroksida Besi hidroksida Besi oksida	FeCO <sub>3</sub> FeS Fe(OH) <sub>2</sub> Fe(OH) <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Korosi, gas terlarut, pH

## 2.2 Pembentukan Kerak

Pembentukan kerak dan deposit endapan lain merupakan proses kristalisasi yang kompleks. Kecepatan pembentukan lapisan awal kerak serta kecepatan pertumbuhan berikutnya ditentukan lewat interaksi dari beberapa kecepatan proses dari nukleasi, difusi, reaksi kimia, dan kesesuaian pola geometris molekul-molekul dan atom-atom kristal kerak, dan lain-lain. Unsur pokok pembentukan kerak mineral sebagian besar kelarutannya cenderung turun terhadap kenaikan suhu, bila larutan lewat jenuh bersinggungan dengan permukaan transfer panas maka mineral tersebut akan mengendap dan menjadi padatan akibat daya larut setimbangnya yang menurun. Saat larutan menjadi lewat jenuh dan nukleasi terjadi, kondisi ini cocok dan sangat ideal untuk pertumbuhan kristal partikel kerak. Senyawa-senyawa yang dibawa air seperti kalsium karbonat akan mengendap dan selanjutnya membentuk kerak sebagai akibat adanya perubahan suhu, beda tekanan, perubahan pH, dan lain sebagainya. Perubahan tersebut terjadi dalam peralatan proses, penukar panas, *evaporator*, *boiler*, dan *cooling tower* (Salimin dan Gunandjar, 2007).

Mekanisme pembentukan dari endapan kerak berhubungan dengan komposisi air di dalam formasi. Umumnya, air mengandung ion-ion yang terlarut, baik berupa kation ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Ba}^{2+}$ ), ataupun anion ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{HCO}_3\text{SO}_4^{2-}$ ). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang menyebabkan terjadinya proses kelarutan. Kelarutan sebagai batas dari suatu zat yang dapat dilarutkan dalam zat pelarut pada kondisi fisik yang tertentu. Proses terlarutnya ion-ion dalam air merupakan fungsi dari tekanan, waktu, temperatur dan kontak antara media pembentukan dengan air. Pembentukan kerak pada boiler akan mengakibatkan kerugian pada pemindahan panas *boiler*. Panas berlebihan (*overheating*) dan tersumbatnya pipa dapat terjadi sehingga menyebabkan pembongkaran sehingga keluarnya biaya perawatan untuk membersihkan pipa-pipa secara kimiawi (Ratna, 2011). Pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi disebabkan oleh deposisi garam inorganik seperti kalsium karbonat, kalsium sulfat dan magnesium karbonat pada permukaan penukar panas.

Kerak dalam instalasi desalinasi thermal memiliki optimisasi proses operasi, maksimum temperatur *brine* adalah 70 °C. Menurut Lestari *et al.* (2004), proses pengendapan kerak dapat terjadi melalui 3 tahap, yaitu :

### 1. Pembentukan Inti (Nukleasi)

Pada tahap nukleasi terjadi pembentukan inti kristal yang berupa partikel halus sehingga tidak akan terjadi pengendapan pada saat proses aliran. Inti ini dapat dibentuk dari molekul atau ion komponen endapan yang tumbuh bersamaan dengan jarak yang berdekatan, dapat juga dikatakan sebagai partikel halus secara kimia tidak berhubungan dengan endapan, tetapi ada kemiripan dengan struktur kisi kristal.

### 2. Pertumbuhan Kristal

Pada tahap ini, kristal terbentuk dari lapisan ion komponen endapan pada permukaan inti karena tidak mencapai kesetimbangan pada pengolahan air yang melibatkan proses pengendapan. Inti akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar dengan diameter 0,001 – 0,1  $\mu$  (ukuran koloid), kemudian tumbuh lagi hingga diameter 0,1 – 10  $\mu$  (kristal halus). Kristal akan mulai mengendap saat pertumbuhannya mencapai diameter lebih dari 10  $\mu$  (kristal kasar).

### 3. Aglomerasi

Pengendapan akan membentuk padatan dan kemungkinan bukan padatan yang paling stabil untuk berbagai kondisi reaksi dan selama jangka waktu tertentu struktur kristal endapan dapat berubah menjadi fasa yang stabil. Pematangan juga terjadi pada ukuran kristal endapan yang bertambah akibat partikel yang lebih kecil memiliki energi permukaan yang lebih besar dari partikel yang besar, konsentrasi larutan dalam kesetimbangan untuk partikel yang lebih tinggi akan sebanding untuk partikel yang lebih besar. Akibatnya, pada ukuran partikel yang beragam partikel yang lebih besar terus bertambah karena larutan masih dalam keadaan yang lewat jenuh. Partikel yang lebih kecil melarut, sebab konsentrasi larutan sekarang belum diketahui harga jenuhnya.

### 2.3 Faktor Pembentukan Kristal

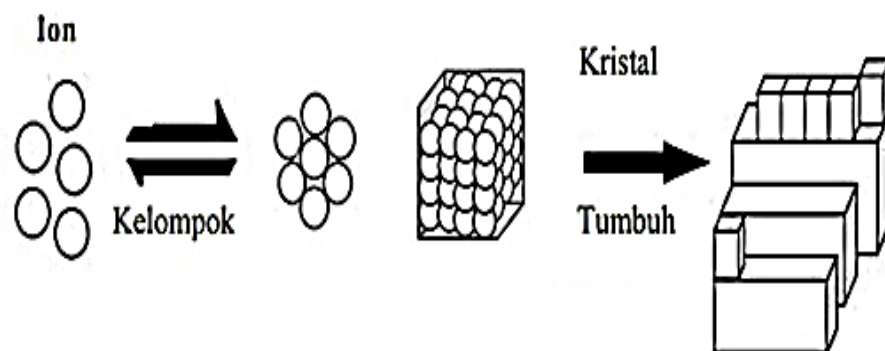
Ukuran dari kristal yang terbentuk selama pengendapan, tergantung pada dua faktor utama, diantaranya laju pembentukan inti (nukleasi) dan laju pertumbuhan kristal. Laju pembentukan inti dinyatakan dengan jumlah inti yang terbentuk dalam satuan waktu. Apabila laju pembentukan inti tinggi, maka akan banyak kristal yang akan terbentuk dari partikel-partikel kecil. Laju pertumbuhan kristal juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi ukuran dari kristal yang terbentuk selama pengendapan berlangsung. Jika laju pertumbuhan semakin tinggi maka kristal yang terbentuk akan semakin besar. Laju pembentukan inti dan laju pertumbuhan kristal tergantung pada derajat lewat jenuh dari suatu larutan. Derajat lewat jenuh yang semakin tinggi akan memungkinkan untuk membentuk inti yang baru semakin besar sehingga akan memperbesar laju pembentukan inti dan laju pertumbuhan kristal (Svehla, 1990). Faktor-faktor pembentukan kristal diantaranya :

#### 1. Kelarutan Endapan

Kelarutan dilambangkan huruf “s” yang artinya *solubility*. Kelarutan merupakan kuantitas dari suatu zat yang larut dalam sejumlah pelarut. Endapan dikatakan sebagai zat yang memisahkan diri sebagai fase padat dari suatu larutan. Endapan dapat terbentuk jika larutan menjadi terlalu jenuh dengan zat lainnya. Kelarutan dari suatu endapan sama dengan konsentrasi molar larutan jenuhnya. Kelarutan tergantung dari berbagai kondisi, seperti tekanan, temperatur, dan konsentrasi, komposisi pelarutnya serta bahan-bahan lain dalam larutan tersebut. Hasil kali kelarutan dalam keadaan sebenarnya adalah nilai akhir yang dicapai oleh hasil kali ion ketika kesetimbangan tercapai antara fase padat dari garam yang hanya sedikit larut dalam larutan itu. Hasil kali kelarutan tidak memberikan informasi mengenai laju ketika kesetimbangan terjadi, tetapi dapat menentukan keadaan kesetimbangan. Hasil kali kelarutan juga memungkinkan kita untuk menerangkan dan memperkirakan reaksi-reaksi pengendapan (Svehla, 1990).

## 2. Kristalisasi

Kristal adalah zat padat yang memiliki susunan atom atau molekul yang teratur. Kristalisasi merupakan proses pembentukan kristal dari larutannya dan kristal yang dihasilkan dapat dipisahkan secara mekanik. Kristalisasi dari larutan dapat terjadi jika padatan larutan dalam keadaan di luar kesetimbangan dan sistem akan mencapai kesetimbangan dengan cara mengkristalkan padatan yang terlarut. Kristalisasi senyawa dalam larutan langsung pada permukaan transfer panas dimana kerak terbentuk memerlukan tiga faktor simultan yaitu konsentrasi lewat jenuh (*supersaturation*), terbentuknya inti kristal dan waktu kontak yang memadai (Brown, 1978). Kristalisasi memiliki dua tahap proses, yang pertama yaitu tahap pembentukan inti yang merupakan tahap mulai terbentuknya zat padat baru, dan tahap kedua yaitu pertumbuhan kristal yang merupakan tahap inti zat padat yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan menjadi kristal yang lebih besar (Suharso *et al.*, 2008). Kristal-kristal yang telah terbentuk memiliki muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008). Salah satu contoh laju pertumbuhan kristal yang mudah diamati terlihat pada laju pertumbuhan kristal borak (Suharso *et al.*, 2002; Suharso, 2004; Suharso *et al.*, 2004; Suharso, 2007; Suharso *et al.*, 2008; Suharso, 2009a; Suharso, 2009b; Suharso, 2010). Penjelasan sederhana dari pembentukan kristalisasi ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Tahapan kristalisasi (Zeihner *et al.*, 2003)

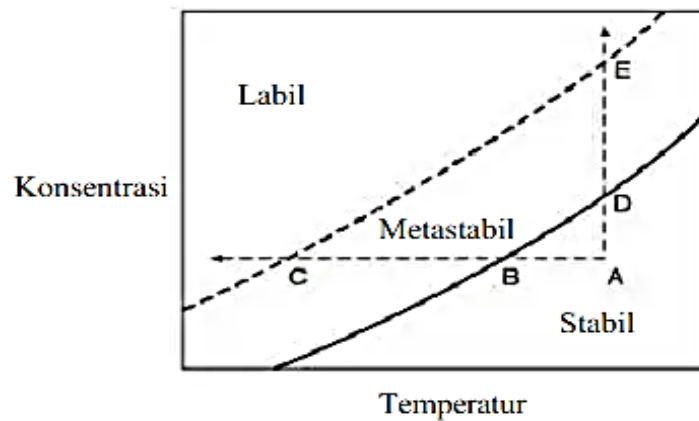
Terdapat empat faktor yang mempengaruhi kecepatan proses kristalisasi. Keempat faktor tersebut adalah konsentrasi larutan (semakin jenuh konsentrasi larutan, maka proses kristalisasi akan berlangsung lebih cepat), kandungan kotoran (larutan yang memiliki banyak kotoran akan menyebabkan kemurnian larutan menjadi lebih rendah, maka kecepatan kristalisasi akan semakin lambat), bahan pemanas (bahan pemanas digunakan untuk menguapkan air agar proses kristalisasi lebih cepat karena larutan semakin jenuh), dan jenis alat (alat yang digunakan untuk pemanasan akan berpengaruh pada lama waktu pemanasan) (Giulietti *et al.*, 2010).

### 3. Temperatur Air

Untuk kondisi lingkungan, temperatur proses tidak memiliki variasi yang besar yaitu masih berkisar pada suhu kamar, namun untuk beberapa industri temperatur proses sangat variatif dimana akan memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap proses pergerakan. Komponen pembentuk kerak cenderung mengendap membentuk kerak pada temperatur yang tinggi dikarenakan kelarutannya akan menurun dengan naiknya temperatur. Laju pergerakan mulai meningkat pada temperatur air 50 °C atau lebih dan kadang-kadang kerak terbentuk pada temperatur air di atas 60 °C (Lestari, 2008).

### 4. Derajat Lewat-Jenuh (Supersaturasi)

Larutan lewat jenuh termasuk larutan metastabil yang mengandung konsentrasi zat terlarut lebih banyak daripada larutan jenuh, sedikit gangguan pada larutan lewat jenuh menyebabkan kristalisasi zat terlarut (Whitten, 2014). Larutan lewat jenuh merupakan larutan yang mengandung zat terlarut lebih besar daripada yang dibutuhkan pada sistem kesetimbangan larutan jenuh. Supersaturasi dan kristalisasi terjadi bila ada penambahan yang bisa mengkristal dalam air dengan pH dan suhu tertentu, sehingga suatu saat terjadi kejenuhan dan selanjutnya terjadi kristal. Kondisi kelarutan dibagi dalam tiga bagian diantaranya daerah stabil, daerah metastabil, dan daerah labil. Diagram dari konsentrasi-temperatur dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Diagram konsentrasi-temperatur (*solubility*) (Wafiroh, 1995).

Pada gambar di atas, garis utuh merupakan kurva *solubility* dan garis putus-putus merupakan kurva *supersolubility*. Pada daerah stabil (tidak jenuh), tidak akan terjadi kristalisasi. Pada daerah metastabil (lewat jenuh), kristal dapat tumbuh tetapi nukleasi spontan tidak akan terjadi. Pada daerah labil, kristal dapat tumbuh dengan nukleasi yang kemungkinan dapat terjadi secara spontan. Jika larutan di titik A didinginkan tanpa kehilangan pelarut sampai melewati kurva kelarutan sepanjang ABC, nukleasi spontan tidak akan terjadi hingga titik C terlewati. Pengurangan pelarut dengan temperatur konstan ditunjukkan oleh garis ADE yang dapat menimbulkan supersaturasi (Wafiroh, 1995). Proses penjenuhan dapat dilakukan dengan empat cara yaitu, penguapan pelarut, pendinginan, penambahan senyawa lain dan reaksi kimia (Dera, 2018).

##### 5. Laju Alir Air

Pengaruh dari laju alir adalah dalam hal jumlah impuritas yang diangkut selama fluida mengalir. Jika laju alir semakin besar maka impuritas yang diangkut menjadi semakin besar sehingga memiliki relevansi terhadap kemungkinan peningkatan jumlah kerak yang terjadi. Laju pembentukan kerak akan meningkat dengan turunnya laju alir sistem (Lestari, 2008).

## 6. Kualitas Air

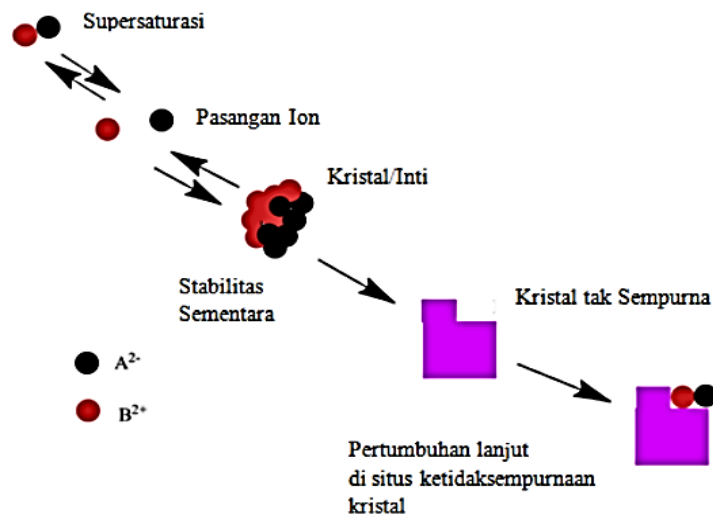
Kualitas air berpengaruh dalam pembentukan kerak dipengaruhi oleh konsentrasi komponen-komponen pembentuk kerak seperti kesadahan kalsium, pH, konsentrasi fosfat, dan konsentrasi bahan penghambat kerak dalam air (Lestari, 2008).

### 2.4 Mekanisme Pembentukan Kerak

Pembentukan kerak pada dasarnya terjadi dalam suatu aliran yang bersifat garam, apabila mengalami penurunan tekanan secara tiba-tiba maka aliran tersebut menjadi lewat jenuh dan menyebabkan terbentuknya endapan garam yang menumpuk pada dinding-dinding peralatan industri. Pembentukan kerak dipengaruhi oleh konsentrasi komponen-komponen kerak, pH dan konsentrasi bahan penghambat kerak dalam air (Badr *and* Yassin, 2007).

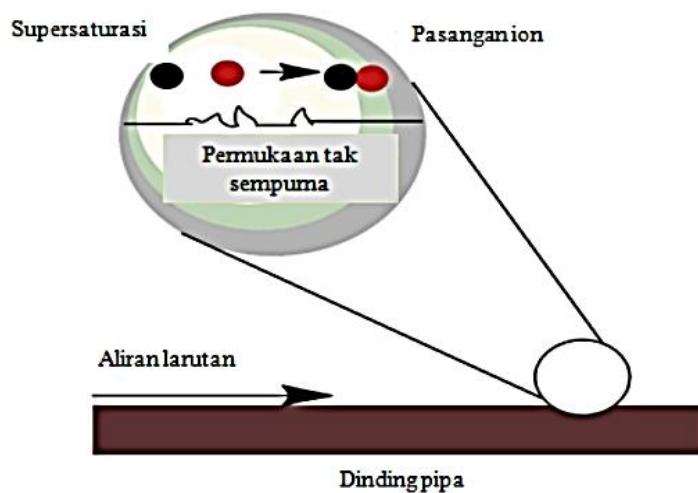
Umumnya, komponen pembentukan kerak lebih cenderung mengendap dan menempel sebagai kerak pada temperatur yang tinggi karena kelarutannya akan menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Perkembangan pertama dari nukleasi homogen dimulai dengan pembentukan sekelompok atom untuk memperoleh benih kristal kecil yang tumbuh oleh ion yang menempel pada permukaan kristal yang tidak sempurna sehingga meningkatkan ukuran kristal, kristal yang besar mendukung pertumbuhan inti kristal kecil sehingga terbentuk *cluster* (Crabtree *et al.*, 1999). Pertumbuhan awal dari pembentukan kerak mineral yaitu terbentuknya gugus atom yang tidak stabil pada cairan lewat jenuh oleh nukleasi homogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.





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

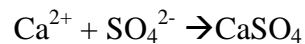
Pada proses nukleasi heterogen, pertumbuhan kristal dimulai pada permukaan batas larutan yang sudah ada sebelumnya di dalam pipa pertukaran panas. Nukleasi heterogen terjadi akibat kehadiran benda-benda asing sehingga memicu terbentuknya inti kristal dan biasanya terjadi pada permukaan pipa yang kasar dan sambungan pada jalur pipa produksi yang tidak sempurna. Kristal yang terbentuk dari nukleasi heterogen memiliki waktu induksi yang jauh lebih pendek saat mereka tumbuh pada permukaan pipa atau permukaan kerak yang sudah terbentuk sebelumnya (Crabtree *et al.*, 1999). Mekanisme nukleasi heterogen ditunjukkan pada Gambar 5.



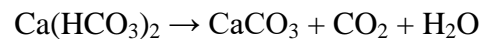
**Gambar 5.** Nukleasi heterogen (Crabtree *et al.*, 1999).

Menurut Badr *and* Yassin (2007) prinsip dari mekanisme pembentukan kerak, yaitu:

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

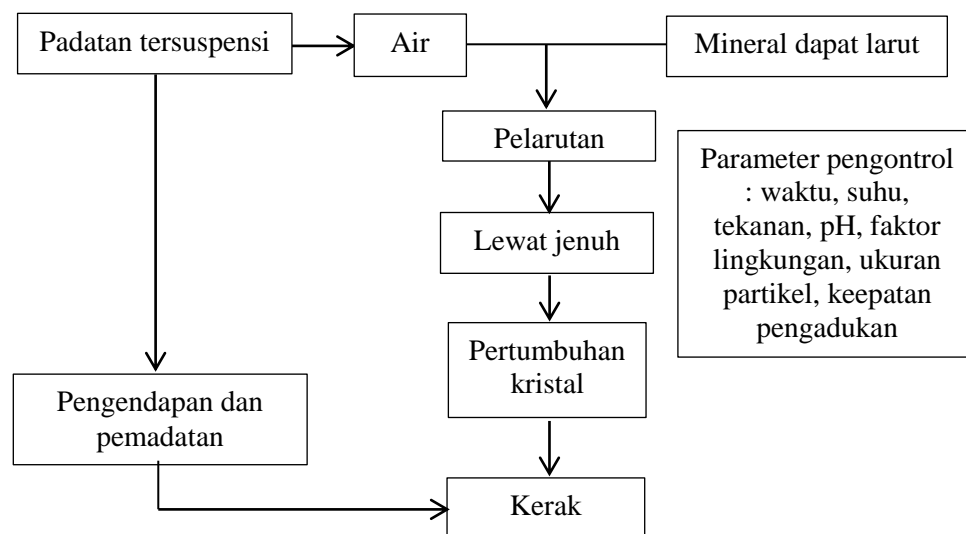


2. Penurunan tekanan dan kenaikan temperatur air garam, yang menurunkan kelarutan garam (umumnya mineral yang paling banyak mengendap adalah kerak karbonat seperti  $\text{CaCO}_3$  atau  $\text{MgCO}_3$ ).



3. Penguapan air garam, menghasilkan peningkatan konsentrasi garam melebihi batas kelarutan dan membentuk endapan garam.

Pada saat larutan menjadi lewat jenuh dan terjadi nukleasi, kondisi ini sangat ideal untuk pertumbuhan partikel kristal kerak. Senyawa-senyawa yang dibawa air dapat mengendap dan membentuk kerak (Salimin dan Gunandjar, 2007). Skema dari mekanisme pembentukan kerak ditunjukkan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Skema mekanisme pembentukan deposit kerak air (Salimin dan Gunandjar, 2007).

## 2.5. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak  $MgCO_3$  pada peralatan-peralatan industri antara lain:

### 1. Pengendalian pH

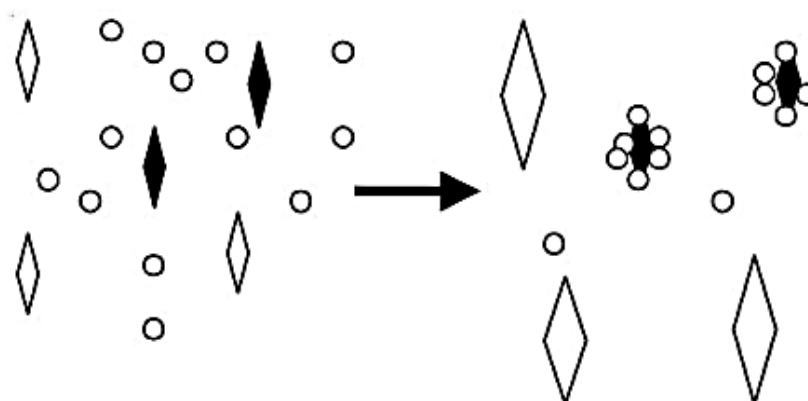
Pengendalian pH dilakukan dengan penginjeksian asam (asam klorida atau asam sulfat) telah diterapkan untuk pencegahan pengendapan oleh garam-garam kalsium, garam fosfat dan garam logam bivalen (Lestari *et al.*, 2004). Kelarutan bahan pembentukan kerak biasanya akan meningkat pada pH yang lebih rendah. Pada pH 6,5 atau kurang akan menyebabkan korosi dengan cepat pada baja karbon, paduan tembaga dan tembaga. Untuk pH yang efektif dalam mencegah pengendapan kerak berkisar pada pH 7,0 sampai 7,5. Asam sulfat yang biasa digunakan pada metode pengendalian pH akan bereaksi dengan ion karbonat yang ada di air menghasilkan  $H_2O$  dan  $CO_2$  sehingga pembentukan kerak  $CaCO_3$  dapat dicegah (Al-Deffeeri, 2006).

### 2. Penggunaan Inhibitor Kerak

Pada umumnya inhibitor kerak merupakan bahan kimia yang ditambahkan dengan sengaja pada konsentrasi kecil untuk mencegah ataupun menghentikan terbentuknya kerak kedalam air (Halimatuddahlia, 2003). Prinsip kerja dari inhibitor kerak yaitu pembentukan senyawa kompleks (*khelat*) antara inhibitor kerak dengan unsur-unsur pembentuk kerak, senyawa kompleks yang terbentuk ini larut dalam air sehingga memperkecil kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar dan mencegah kristal kerak untuk melekat pada dinding pipa (Patton, 1981). Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan inhibitor adalah kestabilan dalam air pada waktu yang lama dengan temperatur yang tinggi, keefektifan, biaya dan kecocokan (Syahri dan Sugiarto, 2008). Inhibitor kerak ideal harus memiliki sifat-sifat diantaranya kompatibilitas dengan air laut dan air produksi, kontrol kerak efektif pada konsentrasi inhibitor rendah, stabilitas termal yang

tinggi, keseimbangan antara sifat adsorpsi-desorpsi, biaya rendah, bebas dari fosfor dan logam berat, toksisitas rendah dan biodegradabilitas tinggi (Duccini *et al.*, 1997). Inhibitor biasanya diinjeksikan kedalam larutan yang secara kontinu maupun periodik. Metode ini mampu mengendalikan proses *nucleation*, pertumbuhan kristal yang terjadi pada permukaan pipa dan peralatan lainnya. Pada umumnya, inhibitor kerak yang digunakan pada ladang minyak dibagi menjadi dua tipe, yaitu inhibitor kerak anorganik dan inhibitor kerak organik (Sousa and Bertran, 2014).

Inhibitor kerak anorganik yang banyak digunakan diantaranya fosfat seperti dehidrat fosfat dan kondensat fosfat, fosfonat, polimer, dan fosfat ester. Bahan-bahan kimia ini mengandung *group* P-O-P yang pada permukaan kristal cenderung untuk melekat. Inhibitor kerak organik yang biasa digunakan adalah polimer-polimer organik, organo fosfonat, dan organo fosfat ester. Polimer-polimer organik efektif untuk kerak  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ , dan  $\text{CaCO}_3$ , organo fosfonat efektif untuk kerak  $\text{CaCO}_3$  dan organo fosfat efektif untuk kerak  $\text{CaSO}_4$  (Asnawati, 2001). Penggunaan bahan kimia sangat menarik, karena dengan dosis yang sangat rendah dapat mencukupi untuk mencegah kerak dalam periode yang lama (Cowan and Weintritt, 1976). Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan dalam Gambar 7.



**Gambar 7.** Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan ( $\circ$  = inhibitor,  $\diamond$  = bibit kristal) (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014).

Kerja Inhibitor dalam mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal dari bibit kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam) yang mengakibatkan terhambatnya pertumbuhan kristal. Pada bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal yang tidak diberi warna) mengalami pertumbuhan normal (Suharso *et al.*, 2009c; Suharso *et al.*, 2014).

Mekanisme kerja dari inhibitor kerak terbagi menjadi dua, yaitu :

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

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

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

Metode untuk mencegah pembentukan kerak magnesium karbonat ( $MgCO_3$ ) dalam pipa dapat menggunakan inhibitor kimia, yang dapat mengontrol pertumbuhan kristal serta mengubah morfologi. Inhibitor dapat menjadi solusi untuk mengontrol proses pembentukan inti dan pertumbuhan kristal yang terjadi di permukaan kristal yang sedang tumbuh (Raharjo, 2020). Senyawa kimia ramah lingkungan sebagai inhibitor kerak membentuk selaput adsorpsi pada permukaan logam dan mencegah timbulnya kerak pada permukaan logam. Adsorpsi ini bersifat subjektif terhadap kepadatan muatan permukaan logam dan juga muatan

molekul inhibitor (Ma *et al.*, 2001). Pada efek adsorpsi, molekul penghambat kerak akan secara langsung menempati titik-titik situs yang disukai oleh pembentuk kerak sehingga kristal kerak tidak dapat menemukan tempat aktif untuk menempel pada permukaan pipa dan pertumbuhan kerak akan menurun. Kemampuan penghambatan tergantung pada kerapatan muatan, jumlah tempat adsorpsi, modus interaksi dengan permukaan logam, berat molekul, dan ukuran molekul (Wang *et al.*, 2010).

### 3. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Pembentukan kerak dapat dicegah dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air. Salah satu cara yang digunakan untuk melunakkan air sadah adalah dengan cara pertukaran ion. Zeolit yang akan digunakan diaktivasi terlebih dahulu dengan beberapa metode aktivasi yaitu cara fisika dengan pemanasan dalam *furnace* dan cara kimia menggunakan larutan NaOH, HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atau NH<sub>3</sub> (Arifin dan Komarudin, 1999). Selain itu, pencegahan terjadinya kerak pada air yang mengandung kesadahan tinggi dapat dilakukan dengan menggunakan kapur dan soda abu (pengolahan kapur dingin) (Lestari *et al.*, 2004). Pemakaian air bebas mineral merupakan metode yang tepat untuk menghambat kerak pada suatu sistem dengan pembebanan panas tinggi dimana pengolahan konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil, akan tetapi penggunaan air bebas mineral membutuhkan biaya yang lebih tinggi karena sebagian besar biaya ditujukan untuk menyediakan air bebas mineral (Sousa and Bertran, 2014).

### 4. Peningkatan Kondisi Operasi Alat Penukar Panas

Alat penukar kalor berfungsi untuk menukarkan energi yang dimiliki oleh suatu fluida atau zat ke fluida atau zat lainnya. Peralatan penukar kalor banyak dijumpai seperti ketel uap (*boiler*), pemanas lanjut (*super heater*), pendingin oli pelumas (*oil cooler*), kondenser (*condenser*), dan lain-lain. Salah satu metode dari

penghambatan kerak yang efektif dengan pengendalian kondisi operasi pada dinding luar alat penukar panas. Namun, hal ini hanyalah sebagai pelengkap dan bahan penghambat kerak tetap diperlukan untuk pencegahan timbulnya kerak yang memadai (Anwar, 2011).

## **2.6 Mekanisme Penghambatan Kerak**

Penghambatan kerak berasal dari proses fisik yang lebih kompleks, seperti adsorpsi, nukleasi dan proses pertumbuhan kristal daripada dengan reaksi kimia. Beberapa mekanisme pelarutan dan penghambatan kerak oleh inhibitor, yaitu :

### **2.6.1 Penghambat Ambang Batas**

Istilah inhibisi (penghambatan) ambang batas menggambarkan mekanisme inhibitor kerak pada level sub mikroskopik kristal. Penghambatan ambang batas dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari senyawa kimia pada tingkat sub stoikiometri untuk mempertahankan kelarutan ion mineral melebihi batas normalnya (Davis *et al.*, 1995; Stamatakis *et al.*, 2006). Inhibitor ambang batas pada dasarnya mengganggu atau menghilangkan mekanisme pertumbuhan kristal secara cepat dengan menyerap pada situs pertumbuhan kristal. Proses ini akan mencegah atau menunda pertumbuhan kristal untuk waktu yang lama. (Severtson *et al.*, 1999).

### **2.6.2 *Khelat***

Ligan merupakan basa Lewis yang dapat terkoordinasi pada ion logam membentuk senyawa kompleks. Ligan dapat berupa anion atau molekul netral yang digolongkan sesuai dengan jumlah atom donor yang dimilikinya. Ligan yang mengandung dua atau lebih atom, yang masing-masing serempak membentuk

ikatan dua donor elektron kepada ion logam yang sama disebut ligan *khelat* karena ligan ini tampaknya mencengkeram kation di antara dua atau lebih atom donor (Cotton *and* Wilkinson, 1989). Ligan polidentat mempunyai lebih dari dua atom donor yang untuk mengikat logam atau ion pusat. Molekul polidentat mengikat ion logam membentuk suatu cincin yang dinamakan proses khelasi. Kompleks yang dihasilkan melalui proses ini disebut *khelat*. *Khelat* merupakan aditif kimia yang dapat mengikat spesies kation yang dapat larut seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  dengan mencegah reaksi dengan *counter ion* (Jones *et al.*, 2002). Terdapat dua atau lebih ikatan koordinasi dalam molekul agen peng-*khelat* atau agen pengompleks (Syahputra, 2004).

### 2.6.3 Distorsi Kristal

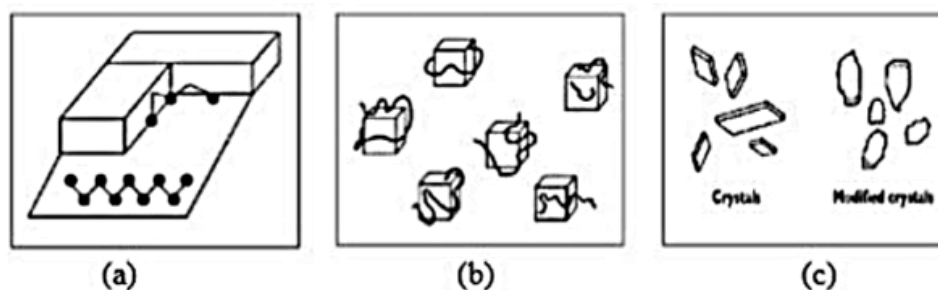
Distorsi kristal memiliki mekanisme dimana inhibitor dapat mengubah kristal kecil yang tumbuh dan membuat sel satuan dalam bentuk aksial yang tidak seragam, sehingga pertumbuhan normal kristal terganggu serta kerak tidak dapat terbentuk. Distorsi struktur kristal bisa menghasilkan pematangan kristal dan mencegah pengendapan mikrokristal. Distorsi kristal juga akan menunda pertumbuhan kristal yang biasanya sangat teratur (Yang *et al.*, 2001). Molekul inhibitor menyerap ke situs pertumbuhan kristal yang aktif sehingga akan menghasilkan penghalangan, dan pencegahan pertumbuhan lebih lanjut. Hasilnya kristal akan lunak dan tidak menempel pada permukaan transfer panas. (Davis *et al.*, 1995).

### 2.6.4 Dispersi Kristal

Dispersi merupakan sebuah produk padat yang terdiri dari setidaknya dua komponen yang berbeda, umumnya matriks bersifat hidrofilik dan obat hidrofobik, matriks dapat berupa kristal atau *amorf* (Dhirendra *et al.*, 2009). Dispersi kristal merupakan mekanisme aglomerasi dan pertumbuhan mikrokristal



yang dapat dicegah dengan melakukan peningkatan anionik pada permukaan. Dispersi juga dapat diartikan sebagai campuran stabil yang seragam dari bahan yang tidak larut dalam cairan. Inhibitor tipe dispersi berinteraksi dengan permukaan kristal dengan cara memodifikasi permukaan sehingga dapat menjauhkan kristal dari pembentukan kerak pada permukaan panas (Chauhan *et al.*, 2015). Kristal-kristal yang tidak teratur akan membuat lapisan kerak sulit terbentuk pada permukaan sistem dan kristal yang kurang teratur akan mudah terdispersi (menyebarkan). Kelompok fungsional yang berasal dari monomer dan polimer yang paling umum digunakan untuk penyebaran kristal (Severtson *et al.*, 1999). Mekanisme penghambatan inhibitor ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Mekanisme penghambatan inhibitor (a) *Threshold inhibition*, (b) *Crystal dispersion*, (c) *Crystal distortion* (Severtson *et al.*, 1999).

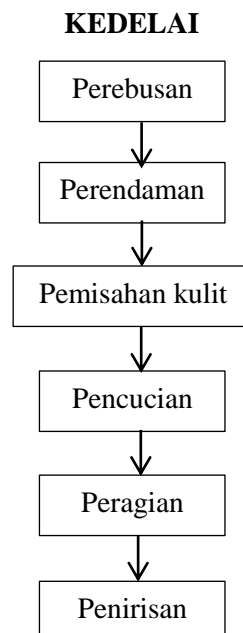
## 2.7 Pengendapan Senyawa Anorganik

Timbulnya kerak disebabkan oleh adanya unsur-unsur anorganik pembentuk kerak, seperti logam magnesium (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). Proses pengendapan senyawa-senyawa anorganik biasa terjadi pada peralatan-peralatan industri yang melibatkan air seperti industri minyak dan gas, proses desalinasi dan ketel serta industri kimia. Endapan-endapan ini dapat menimbulkan masalah seperti kerak. Kerak akan memperkecil diameter pada pipa dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut sehingga menyebabkan tekanan semakin tinggi dan pipa mengalami kerusakan. Mekanisme pembentukan

endapan kerak berhubungan dengan komposisi air di dalam formasi. Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses kelarutan (Maley, 1999).

## 2.8 Limbah Cair Tempe

Tempe terbuat dari kedelai (*Glycine sp.*) dimana hasil produksi kedelai ini dipergunakan untuk bahan baku pembuatan tempe dan tahu (Sarwono, 2005). Industri tempe akan menghasilkan aliran limbah dalam proses pembuatannya. Limbah yang diperoleh dari industri tempe dapat berupa limbah cair ataupun padat. Limbah merupakan buangan yang dihasilkan dari suatu proses industri maupun domestik yang kehadirannya tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Proses produksi tempe menghasilkan limbah cair dalam jumlah yang banyak. Limbah padat industri tempe dapat dimanfaatkan sebagai makanan ternak, namun limbah cairnya akan mengeluarkan bau dan apabila dibuang langsung ke sungai akan mengakibatkan polusi (Puspawati, 2017). Alur pembuatan tempe ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Alur pembuatan tempe (Nurhasan, 1991).

Limbah cair dari produksi tempe yang dihasilkan mengandung padatan tersuspensi dan terlarut yang akan mengalami perubahan fisik, kimia, dan biologi serta menghasilkan zat beracun dan menciptakan media pertumbuhan bakteri apabila tidak diolah dengan baik. Jika racun tetap berada dalam limbah, maka air limbah akan berubah warna menjadi hitam dan menghasilkan bau. Limbah yang dibuang ke sungai akan mencemari sungai dan apabila airnya digunakan akan menyebabkan diare dan penyakit lainnya (Nurhasan, 1991). Limbah cair industri tempe memiliki kandungan kompleks yang terdiri dari karbohidrat 0,11%, protein sebesar 0,42%, air 98,87%, lemak 0,113%, fospor 1,74 ppm, besi 4,55 ppm, dan kalsium 13,60 ppm (Said, 1999). Limbah cair tempe mengandung gugus hidroksil dan karbonil yaitu asam laktat yang termasuk dalam golongan asam karboksilat (Mansyur *et al.*, 2015). Limbah ini jika dialirkan tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga berpotensi menimbulkan ketidakseimbangan biologis di alam (Sugiharto, 1994). Kandungan di dalam limbah cair tempe meliputi gas oksigen ( $O_2$ ), nitrogen ( $N_2$ ), hidrogen sulfida ( $H_2S$ ), metana ( $CH_4$ ), karbondioksida ( $CO_2$ ), dan amonia ( $NH_3$ ). Kandungan hara limbah cair terdiri dari N total, P tersedia, dan K yang dapat dipertukarkan yang bervariasi. Analisis kandungan hara dari limbah cair tempe dapat dilihat dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Analisis kandungan hara dari limbah cair tempe (Said, 1999).

Parameter	Kadar (%)
N Total	0,05
P tersedia	0,048
K	0,02

Tempe dalam produksinya melibatkan fermentasi yang dilakukan oleh jamur (*Rhizopus sp.*) dan juga melibatkan peran bakteri asam laktat (Santosa dan Retnaingrum, 2020). Temperatur limbah cair industri tempe biasanya lebih tinggi dari temperatur normal di badan air karena proses pembuatan tempe selalu pada temperatur panas sekitar suhu 60–80 °C. Nilai N total pada limbah cair tempe merupakan jumlah nitrogen total dalam limbah baik secara organik maupun anorganik (Said, 1999). Kandungan kadar K dari limbah cair buatan ini adalah

0,02 % sedangkan kandungan P tersedia dari limbah cair buatan adalah 0,04%. Hasil kandungan hara dalam limbah cair tempe telah memenuhi kadar unsur hara yang ditentukan pada Peraturan Menteri Pertanian No.28/Permentan/OT.140/2/2009 yaitu kurang dari 2 % (Notohadiprawiro, 1999).

## **2.9 Bakteri Asam Laktat**

Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan kelompok bakteri yang menghasilkan asam laktat sebagai produk utama dari fermentasi karbohidrat ataupun gula. Secara ekologis kelompok bakteri ini bervariasi dan anggota spesiesnya dapat mendominasi berbagai makanan, minuman dan lainnya (Yuni, 2013). Kelompok bakteri asam laktat dikenal sebagai bakteri yang tahan asam serta aerotoleran yaitu dapat mentoleransi keberadaan oksigen dalam lingkungannya, namun dia tidak membutuhkan oksigen untuk hidupnya. BAL selalu diasosikan dengan bakteri yang mengasamkan susu walaupun peranan bakteri asam laktat tidak hanya terbatas pada pengasaman susu, namun berperan juga dalam proses fermentasi pangan lainnya. Pada proses pembuatan tempe, diproduksi limbah cair berupa air rendaman kedelai yang mengandung beragam jenis bakteri asam laktat. Bakteri asam laktat mampu melakukan proses fermentasi karbohidrat menjadi asam laktat (Santosa dan Endah, 2020).

Bakteri asam laktat (BAL) termasuk bakteri gram positif dengan katalase negatif, selnya berbentuk kokus, tidak berspora, tersusun berpasangan atau berbentuk rantai, anaerob fakultatif, tidak bergerak, bersifat mesofil dan non motil, suhu optimum pertumbuhan  $\pm 40$  °C (Ray, 2001). Sifat-sifat khusus bakteri asam laktat adalah mampu tumbuh pada kadar gula, alkohol, dan garam yang tinggi serta mampu memfermentasikan monosakarida dan disakarida (Syahrurachman, 1994). Asam organik seperti asam sitrat dan asam laktat dapat berfungsi sebagai agen inhibitor yang merupakan asam lemah dan cukup efektif dalam mengurangi kerak yang terdeposit dalam pipa, namun tidak merusak atau menyebabkan korosi pada pipa. Pada upaya mengurangi kerak, banyak penelitian yang merekomendasikan

beberapa aditif *anti-scaling* misalnya senyawa anorganik sederhana berbasis  $Mg^{2+}$  ataupun senyawa organik seperti poliester (Shakkthivel *and* Vasudevan, 2006).

## 2.10 Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2*

Asap cair (*liquid smoke*) adalah campuran larutan dari dispersi asap kayu dalam air yang dibuat dengan mengkondensasikan asap hasil pirolisis kayu (Darmadji, 1995). Bahan baku untuk menghasilkan asap cair ini bermacam-macam, antara lain pelepah sawit, cangkang sawit, tempurung kelapa sawit, ampas hasil penggergajian dan tempurung kelapa (Girard, 1992). Asap cair memiliki banyak manfaat salah satunya yaitu sebagai inhibitor (Choi *et al.*, 2017). Asap cair tempurung kelapa *grade 2* bisa digunakan sebagai inhibitor kerak  $MgCO_3$  karena adanya kandungan fenol dan aseton yang cukup banyak. Senyawa fenol ini memiliki titik didih  $185\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Aprian, 2022). Asap cair tempurung kelapa memiliki 7 macam komponen dominan, yaitu fenol, 3-metil-1,2-siklopentadion, 2- metoksi-4-metilfenol, 2-metoksifenol, 4-etil-2-metoksifenol, 2,5- dimetoksi benzil alkohol, dan 2,6-dimetoksifenol yang semuanya larut dalam eter (Tranggono *et al.*, 1996).



**Gambar 10.** Jenis asap cair tempurung kelapa (Yulistiani, 2008).

Asap cair tempurung kelapa *grade 2* berwarna lebih kuning jika dibandingkan dengan asap cair tempurung kelapa *grade 3* (Yulistiani, 2008). Asap cair *grade 2* merupakan asap cair yang telah melewati tahapan destilasi dengan menggunakan

suhu 250 °C – 300 °C lalu dilanjutkan dengan penyaringan zeolit (Luditama, 2006). Proses penyaringan ini menyebabkan kandungan senyawa berbahaya seperti benzopyrene serta tar yang masih terdapat dalam asap cair teradsorpsi oleh zeolit. Asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat memperlambat kerusakan pada ekstrak gambir dengan memperlambat tumbuhnya jamur karena kandungan asam benzoat dan asam sinamat yang dapat digunakan sebagai antimikroba dan jamur (Darmadji, 1995). Asap cair *grade 2* juga biasanya digunakan untuk pengawet makanan atau pengganti formalin (Yulistiani, 2008). Komponen kimia dari asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil GC-MS komponen kimia asap cair tempurung kelapa *grade 2* (Jayanudin *and* Suhendi, 2012)

Waktu Retensi	% Area	Nama Senyawa
2,64	2,95	2-Propanon
2,69	11,20	Asam Asetat, Metil Ester
3,12	7,72	Metanol
3,24	4,67	2-Butanon
11,11	2,26	2-Propanon
12,48	1,55	1-Hidroksi, 2-Butanon
13,48	45,56	Asam Asetat. Asam Etilat
13,93	6,59	Furankarboksaldehida
19,32	2,51	Fenol, 2-Metoksi
20,46	0,70	Benzena, 1,4-dimetoksi
20,85	12,93	Fenol

### 2.11 Metode *Seeded Experiment*

Berdasarkan ada atau tidaknya kristal awalan atau bibit kristal, metode yang digunakan untuk mengamati pertumbuhan kristal dibagi menjadi dua, yaitu metode *seeded experiment* dan *unseeded experiment*. Metode *seeded experiment* merupakan metode pembentukan kristal dengan menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit kristal ini dilakukan untuk mempercepat terjadinya proses kristalisasi. Semakin cepat proses kristalisasi terjadi, maka semakin cepat laju pertumbuhan inti kristal untuk membentuk kristal

yang lebih besar (Bremere *et al.*, 1999). Area permukaan bibit kristal mempermudah pertumbuhan kristal menjadi lebih besar. Metode ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak magnesium karbonat setelah dilakukan penambahan inhibitor dan bibit kristal (Rahmania, 2012).

## 2.12 Magnesium Karbonat (MgCO<sub>3</sub>)

Magnesium (Mg) merupakan garam anorganik yang berupa padatan putih. Bentuk karbonat magnesium yang paling umum adalah garam anhidrat yang disebut magnesit (MgCO<sub>3</sub>). Kerak magnesium karbonat (MgCO<sub>3</sub>) merupakan tumpukan keras dari bahan anorganik dalam bentuk ion Mg<sup>2+</sup> dan CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Padatan kemudian akan menetap dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas kemudian membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003). Senyawa magnesium karbonat yang terdapat di alam, dapat dihasilkan dengan cara melakukan proses karbonasi pada magnesium hidroksida (Mg(OH)<sub>2</sub>) dengan kondisi super kritis di temperatur 50 °C dan tekanan 90 atm (Andrew *et al.*, 2015). Hasil dari proses karbonasi diperoleh magnesium karbonat bersifat *amorf* dan memiliki densitas yang rendah. Pembuatan magnesium karbonat dari bahan alam seperti dolomit dapat diproses dengan melalui proses pelarutan dengan asam klorida sehingga diperoleh magnesium klorida (Ahmad *et al.*, 2018). Selanjutnya, penambahan natrium karbonat pada magnesium klorida tersebut dapat dilakukan untuk dapat membentuk senyawa magnesium karbonat (Cheng *et al.*, 2009).

Pada aliran laminar, laju alir yang lebih tinggi menyebabkan massa kerak magnesium karbonat yang akan diendapkan menjadi lebih banyak dan menunjukkan bahwa peningkatan aliran fluida dapat meningkatkan laju aliran volume (Muryanto *et al.*, 2012). Kelarutan MgCO<sub>3</sub> dalam air akan menurun dengan naiknya suhu, dan pada larutan NaCl kelarutan MgCO<sub>3</sub> akan meningkat hingga batas maksimum kemudian menurun secara bertahap dengan kenaikan konsentrasi garam dan suhu. Untuk larutan NH<sub>4</sub>Cl dan MgCl<sub>2</sub> kelarutan MgCO<sub>3</sub>

akan meningkat semakin naiknya suhu (Dong *et al.*, 2008). Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan kerak  $MgCO_3$  dan kecepatan pengendapan serta tingkat kekerasan kristal yang terbentuk, yaitu alkalinitas air, perubahan kondisi *reservoir* (tekanan dan temperatur), serta kandungan garam terlarut dimana kecenderungan terbentuknya kerak magnesium karbonat akan meningkat dengan meningkatnya temperatur, meningkatnya pH, menurunnya tekanan parsial  $CO_2$ , waktu kontak, laju alir, turbulensi aliran dan menurunnya kandungan gas terlarut secara keseluruhan (Antony *et al.*, 2011). Magnesium karbonat juga dapat disiapkan di laboratorium melalui reaksi garam magnesium terlarut dengan natrium bikarbonat. Jika magnesium klorida direaksikan dengan natrium karbonat berair, maka endapan magnesium karbonat hidrat kompleks magnesium karbonat dan magnesium hidroksida dari magnesium karbonat akan terbentuk (Ariyanto, 2013).

### **2.13 Analisis dan Karakterisasi Kerak Magnesium Karbonat ( $MgCO_3$ )**

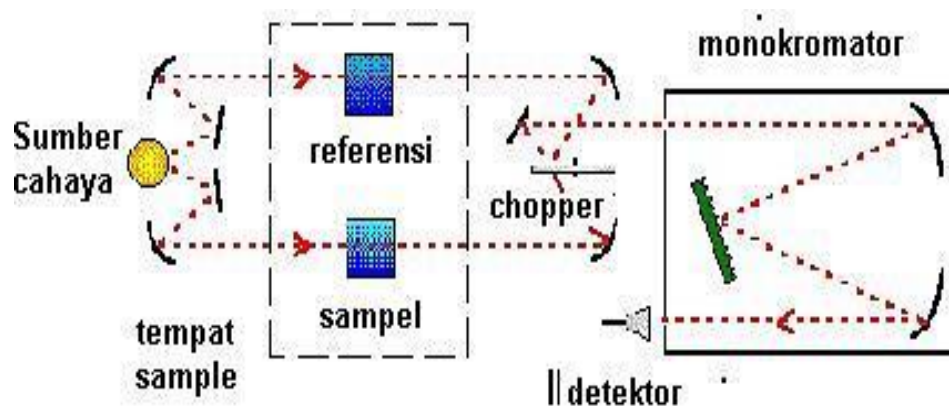
Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa analisis dan karakterisasi terhadap kerak  $MgCO_3$  yang telah terbentuk. Analisisnya meliputi analisis menggunakan IR untuk mengetahui adanya gugus-gugus fungsional utama dalam suatu sampel. Analisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) digunakan untuk mengetahui komponen senyawa kimia pada inhibitor campuran. Karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dari  $MgCO_3$ .

Analisis morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada permukaan kristal  $MgCO_3$ . Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengetahui seberapa efektif campuran dari limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai *green* inhibitor dari pembentukan kerak  $MgCO_3$ .



### 2.13.1 Spektrofotometer *InfraRed* (IR)

Spektrofotometri IR adalah metode yang digunakan dalam identifikasi struktur dari senyawa dengan mengetahui adanya gugus-gugus fungsional utama dalam suatu sampel. Setiap gugus fungsi pada suatu senyawa akan menyerap radiasi infra merah pada panjang gelombang karakteristik. Sinar inframerah hanya dapat menyebabkan vibrasi atau getaran pada ikatan baik berupa rentangan atau *stretching* maupun berupa bengkakan atau *bending* (Sitorus, 2009). Prinsip kerja spektrofotometer inframerah adalah fotometri. Sinar dari sumber sinar inframerah merupakan kombinasi dari panjang gelombang yang berbeda. Sinar yang melalui interferometer akan difokuskan pada tempat sampel, kemudian sinar yang ditransmisikan oleh sampel difokuskan ke detektor. Perubahan intensitas sinar ini menghasilkan gelombang *interference*. Gelombang ini diubah menjadi sinyal oleh detektor dan diperkuat oleh penguat, lalu diubah menjadi sinyal digital (Khopkar, 2008). Skema kerja dari komponen Spektrofotometer *InfraRed* (IR) ditunjukkan pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Skema kerja Spektrofotometer *InfraRed* (IR) (Supratman, 2010).

Jika molekul menyerap radiasi IR, energi yang diserap akan menyebabkan kenaikan amplitudo getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul-molekul tersebut akan berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*), energi yang diserap selanjutnya dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar, sehingga spektrofotometer IR dapat digunakan untuk

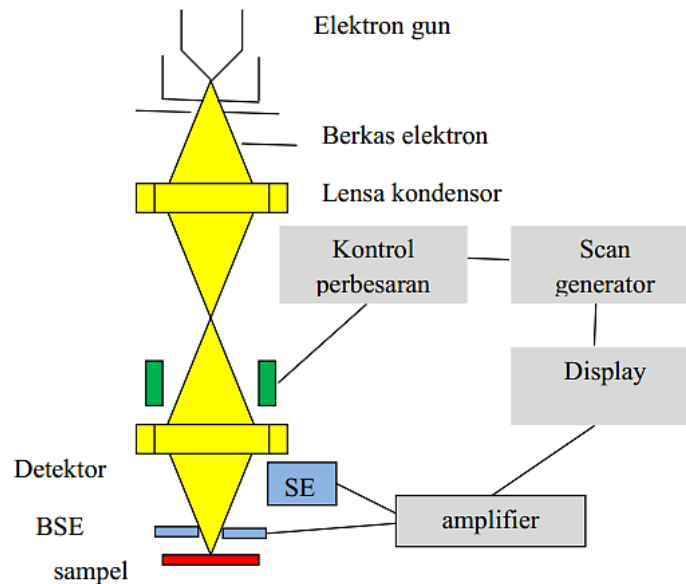
mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul (Supratman, 2010). Spektrofotometer IR menggunakan sinar IR dekat, yaitu sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang 2,5 –25  $\mu\text{m}$  atau jangkauan frekuensi 400–4000  $\text{cm}^{-1}$ . Sinar ini muncul akibat vibrasi dari atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi–rotasi (Khopkar, 2001).

### 2.13.2 *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

*Scanning Electron Microscopy (SEM)* merupakan jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati serta 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 perbesaran dapat dicapai hingga  $\pm 100.000$  kali dan menghasilkan gambar atau citra yang tampak seperti tiga dimensi karena mempunyai *depth of field* yang tinggi, sehingga dapat menghasilkan gambar atau citra yang lebih baik dibandingkan hasil dari mikroskop optik. *Scanning Electron Microscopy (SEM)* melakukan karakterisasi bahan yang digunakan untuk mengetahui kristalografi, topografi, komposisi, dan morfologi dari suatu bahan (Handayani *et al.*, 2004).

Prinsip kerja dari *Scanning Electron Microscopy (SEM)* adalah dengan menggambarkan permukaan dari benda atau material menggunakan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi yang tinggi (Anggraeni, 2008). SEM menggambarkan permukaan suatu bahan dengan resolusi yang tinggi. Resolusi yang tinggi pada SEM dihasilkan dari penggunaan elektron dalam menggambarkan permukaan bahan dan jauh lebih tinggi dibandingkan dengan mikroskop cahaya (0,1–0,2 nm untuk SEM dan 200 nm untuk mikroskop cahaya) (Hanke, 2001). Permukaan yang lebih tinggi akan memberikan warna yang lebih cerah daripada permukaan yang lebih rendah, ini diakibatkan oleh lebih

banyaknya elektron sekunder yang dibebaskan menuju detektor (Ertl *et al.*, 2000). Skema dari SEM ditunjukkan pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Skema bagan SEM (Ni, 2013).

Permukaan material yang terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron yang disebut berkas elektron sekunder ke segala arah. Pada semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron dengan intensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis serta dapat menentukan lokasi berkas elektron yang berintensitas tertinggi. Hamburan elektron *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada layar CRT (Anggraeni, 2008).

### 2.13.3 Particle Size Analyzer (PSA)

*Particle size analyzer (PSA)* merupakan alat yang digunakan untuk karakterisasi distribusi ukuran partikel pada sampel. PSA dapat diaplikasikan pada material

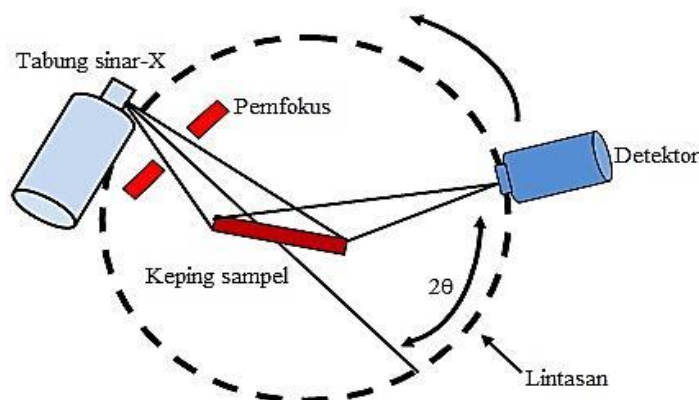
padat, emulsi, suspensi dan aerosol. Pada analisis suatu sampel banyak variasi metode yang dapat dilakukan, beberapa metode dapat digunakan untuk menganalisis partikel dalam jangkauan yang luas dan beberapa metode lagi digunakan untuk penerapan yang lebih spesifik. PSA lebih spesifik untuk menentukan ukuran partikel yang berbentuk lingkaran. Penggunaan dari difraksi laser cukup umum dalam metode pengukuran partikel, terutama ukuran partikel 0,5  $\mu\text{m}$ -100  $\mu\text{m}$ . Prinsip kerja dari PSA yaitu saat cahaya (laser) dihamburkan oleh kumpulan partikel, sudut cahaya hamburan akan berbanding terbalik dengan ukuran partikel. Semakin besar sudut cahaya hamburan maka ukuran partikel akan semakin kecil (Hossaen, 2000).

Pengukuran menggunakan PSA memiliki keunggulan yaitu memiliki rentang pengukuran 0,6 nm-7  $\mu\text{m}$ , dapat mengukur sampel dari 0,02 nm sampai 2000 nm, hasil pengukuran dalam bentuk distribusi sehingga menggambarkan keseluruhan kondisi sampel, memiliki akurasi dan reproduksibilitas berada dalam  $\pm 1\%$ , serta lebih akurat karena partikel didispersikan ke dalam medium sehingga ukuran partikel yang terukur adalah ukuran dari *single particle* (Nanotech, 2012).

#### **2.13.4 X-Ray Diffraction (XRD)**

Sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang pendek yaitu 0,5 – 2,5 Å dan memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. 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  $\theta$  (Cullity, 1987). *X-ray diffraction* (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Spektrum sinar X memiliki frekuensi 10<sup>17</sup>-10<sup>20</sup> Hz, energi 10<sup>3</sup>-10<sup>6</sup> eV, dan panjang gelombang 5-10 nm. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, terdapat tiga kemungkinan yang dapat terjadi, yaitu difraksi, absorpsi,

ataupun fluoresensi. Ketiga fenomena ini yang menjadi dasar pada analisa dengan teknik sinar-X (Muzakir *et al.*, 2012). Skema instrumen XRD ditunjukkan pada Gambar 13.



**Gambar 13.** Skema dari instrumen XRD (Steven, 2001).

Ketika sinar-x difokuskan pada sampel polimer dalam bentuk pelet atau silinder, maka akan terjadi dua hamburan. Apabila sampelnya kristal, sinar-x akan dihamburkan secara koheren yang berarti tidak ada perubahan panjang gelombang atau fasa antara sinar-sinar insiden dan yang dihamburkan. Apabila sampelnya semi kristal, hamburannya tidak koheren yang dinyatakan sebagai difraksi difusi (Steven, 2001). Setiap spesies mineral memiliki susunan atom yang berbeda dan membentuk bidang kristal yang dapat memantulkan sinar-X dalam pola difraksi yang karakteristik, pola difraksi ini kemudian digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa (Rini, 2016). Hasil difraktogram analisis menggunakan XRD dapat digunakan untuk menentukan derajat kristalinitas suatu polimer apabila dipisahkan dari difraksi *amorf* dengan menghitung perbandingan luas difraksi kristalin terhadap luas total difraksi (Rabek, 1980).

### 2.13.5 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

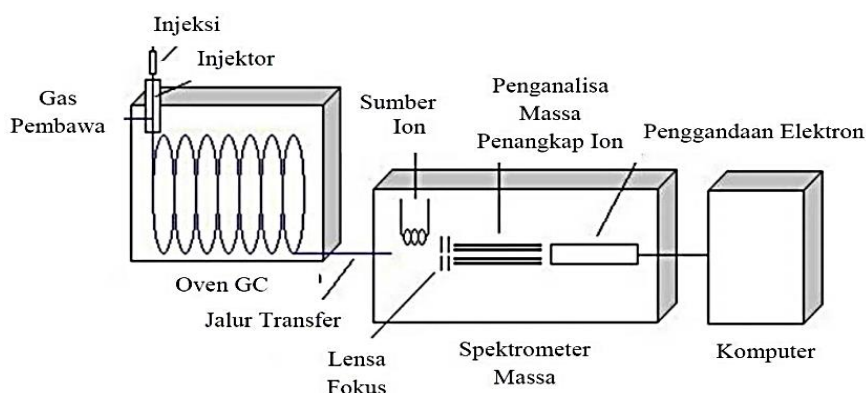
*Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merupakan gabungan dari kromatografi gas dan spektrometri massa. GC-MS digunakan untuk mendeteksi

massa antara 10 m/z hingga 700 m/z (Fessenden, 1982). Kromatografi gas berfungsi sebagai pemisah berbagai komponen campuran dalam sampel dan merupakan metode analisis berdasarkan perbedaan waktu retensi akibat perbedaan mobilitas analit melalui suatu kolom. Prinsip dasar dari kromatografi merupakan pemisahan senyawa-senyawa berdasarkan adanya perbedaan distribusi fasa gerak dan fasa diam (McNair dan Bonelli, 1998). Prinsip kerja dari kromatografi gas terkait dengan perbedaan interaksi analit dengan fase diam dan fase gerak serta titik didih senyawa yang dianalisis. Senyawa dengan titik didih yang tinggi dan lebih terikat dalam fase cair pada permukaan fase diam memiliki waktu retensi yang lama (Clark, 2007).

Spektrometri massa adalah suatu teknik analisis yang didasarkan pada pemisahan berkas ion-ion yang sesuai dengan perbandingan massa terhadap muatan dan pengukuran intensitasnya (Rachmat, 2004). Prinsip pengukuran dari spektrometri massa adalah molekul induk dalam bentuk gas ditembak menggunakan elektron berenergi tinggi sehingga terionisasi menjadi fragmen dengan massa molekul yang lebih kecil (Sastrohamidjoyo, 1982). Spektrometer massa (*Mass Spectrometry*) dapat memberikan informasi struktural terperinci tentang sebagian besar senyawa sehingga dapat dilakukan identifikasi secara tepat tetapi tidak dapat dengan mudah dipisahkan (Hites, 1997). Spektrometer massa ini berfungsi untuk mendeteksi molekul komponen yang telah dipisahkan pada sistem kromatografi gas, dan menembaki analit dengan elektron yang berenergi tinggi sehingga menghasilkan spektrum fragmentasi ion positif sebagai analisis kuantitatif (Silverstein *et al.*, 1998).

GC-MS adalah gabungan dari dua instrumen analisis, yaitu kromatografi gas dengan spektrofotometer massa sehingga menjadi instrumen yang efektif untuk analisis (Baugh, 1993). Spektrofotometer massa sebagai detektor universal sehingga GC-MS dapat digunakan untuk analisis dari berbagai jenis senyawa. Alat ini dilengkapi dengan sistem kepustakaan senyawa kimia, sehingga identifikasi senyawa kimia dapat dilakukan dengan cepat tanpa bantuan instrumen lainnya (Torres, 2005). Data kromatogram dari campuran senyawa yang dihasilkan oleh instrumen GC-MS dapat digunakan untuk memperkirakan

senyawa yang dihasilkan dengan *library* yang terdapat dalam instrumen tersebut (Hendayana, 2006). Skema instrumentasi GCMS ditunjukkan pada Gambar 14.

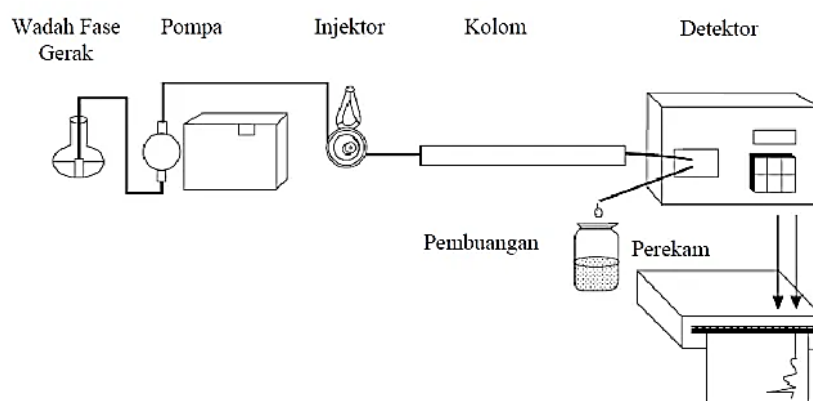


**Gambar 14.** Skema dari instrumen GC-MS (Pavia, 2006).

### 2.13.6 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

*High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) adalah alat yang berfungsi untuk mendorong analit melalui sebuah kolom dari fasa diam (berupa *tube* berpartikel bulat kecil dengan permukaan kimia tertentu) dengan memompa fasa bergerak (berupa cairan) pada tekanan yang tinggi melalui kolom. Prinsip kerja dari HPLC adalah mengalirkan fasa gerak cair dengan bantuan pompa melalui kolom ke detektor melalui cara penyuntikan, kemudian dalam kolom terjadi pemisahan komponen campuran. Perbedaan kekuatan interaksi antara *solute-solute* terhadap fasa diam mengakibatkan *solute* yang kurang kuat interaksinya dengan fasa diam akan keluar dari kolom terlebih dulu, sedangkan *solute* yang kuat interaksinya dengan fasa diam akan keluar dari kolom dan dideteksi oleh detektor lalu direkam dalam bentuk kromatogram kromatografi gas dan jumlah *peak* menyatakan konsentrasi komponen dalam campuran. HPLC biasanya menggunakan kolom dengan diameter sekitar 2-8 mm dan ukuran penunjang partikel 50 mm, laju aliran dipertinggi dengan tekanan yang tinggi. Komputer pada sistem kerja HPLC digunakan untuk mengontrol, mengumpulkan dan mengolah data hasil pengukuran. Biasanya, HPLC digunakan untuk isolasi zat yang tidak mudah menguap dan stabil suhunya. HPLC pada dasarnya merupakan

perkembangan tingkat tinggi dari kromatografi kolom (Khopkar, 2003). HPLC sering digunakan untuk menetapkan kadar senyawa tertentu seperti asam-asam nukleat, asam-asam amino, dan protein-protein dalam cairan fisiologis, menentukan kadar senyawa-senyawa aktif obat, memurnikan senyawa dalam suatu campuran, memonitor sampel-sampel yang berasal dari lingkungan, memisahkan polimer dan menentukan distribusi berat molekulnya dalam suatu campuran (Gandjar dan Rohman, 2007). Skema instrumentasi HPLC ditunjukkan pada Gambar 15.



**Gambar 15.** Skema dari instrumen HPLC (Putra, 2004).



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

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

#### 3.2 Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas yang sering digunakan di laboratorium, *water bath* (THERMOSCIENTIFIC AC 200/S21) dari Amerika Serikat, gelas-gelas plastik, pengaduk magnet, *spinbar*, oven merek *Innotech* dari Cina, pH meter merek *Metrohm 827* dari Swiss, neraca analitik merek *Arshwoth AA-160* dari Jepang, *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS) merk *Shimadzu GC2010 MSQP 2010S* dari Jepang, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merek *Zeiss Evo MA 10* dari Kanada, *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) merek *Shimadzu LC-10AD* kolom *Shim-pack SCR-101H* dari Amerika Serikat, *X-Ray Diffraction* (XRD) merek

*Philip Analytical* dari Belanda dan *Infra Red (IR)* merek *Brucker Alpha II* dari Amerika Serikat.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi  $MgCl_2$  anhidrat,  $NaHCO_3$ , akuades, limbah cair tempe, asap cair tempurung kelapa *grade 2*, dan kertas saring.

### **3.3 Prosedur Kerja**

#### **3.3.1 Pembuatan Inhibitor Limbah Cair Tempe**

Pada penelitian ini digunakan limbah cair tempe yang dihasilkan oleh produsen tempe di Kelurahan Surabaya, Kecamatan Kedaton, Kota Bandar Lampung. Limbah cair tempe ini diambil pada tanggal 8 Desember 2022 pukul 15.00 WIB. Limbah cair tempe yang diperoleh disentrifugasi selama 30 menit, lalu diambil filtrat dari hasil sentrifugasi tersebut dan diuapkan menggunakan *rotary evaporator* sampai terbentuk larutan yang cukup pekat. Kemudian 1 mL filtrat ini diencerkan dalam 1000 mL akuades hingga tanda batas untuk membuat larutan induk 0,1% atau setara dengan 1000 ppm. Selanjutnya, dari larutan induk ini dibuat inhibitor dengan konsentrasi 0,010; 0,020; 0,030 dan 0,040% atau setara dengan 100, 200, 300, dan 400 ppm. Pembuatan larutan inhibitor limbah cair tempe 0,010% dilakukan dengan cara mengencerkan 100 mL larutan induk inhibitor dengan akuades hingga volume totalnya 1000 mL, kemudian dihomogenkan dan nilai keasamannya diukur menggunakan pH meter. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor limbah cair tempe dengan konsentrasi 0,020; 0,030 dan 0,040%.

Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam limbah cair tempe dilakukan analisis menggunakan spektrofotometri IR. Kemudian untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terdapat di dalam limbah cair tempe dilakukan pula analisis menggunakan HPLC.

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

Pada penelitian ini asap cair tempurung kelapa *grade 2* diperoleh dari hasil produksi asap cair yang terletak di Nunyai, Lampung Tengah. Asap cair tempurung kelapa *grade 2* dihasilkan melalui proses destilasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran tidak langsung ataupun langsung dari asap cair *grade 3*. Kemudian 1 mL asap cair ini diencerkan dalam 1000 mL akuades untuk membuat larutan induk 0,1% atau setara dengan 1000 ppm. Pembuatan inhibitor ini dilakukan dalam konsentrasi 0,030% atau setara dengan 300 ppm yang dilakukan dengan cara mengencerkan 300 mL larutan induk dengan akuades hingga volume totalnya 1000 mL lalu dihomogenkan dan nilai keasamannya diukur dengan menggunakan pH meter. Kemudian untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat di dalam asap cair tempurung kelapa *grade 2* dilakukan analisis menggunakan spektrofotometri IR dan untuk mengetahui adanya komponen senyawa kimia yang terdapat di dalam asap cair tempurung kelapa *grade 2* dilakukan pula analisis menggunakan GC-MS.

### **3.3.3 Pembuatan Inhibitor dari Campuran Limbah Cair Tempe dan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2***

Larutan inhibitor dibuat dengan cara mencampurkan 300 mL limbah cair tempe dalam berbagai variasi konsentrasi dengan 300 mL asap cair tempurung kelapa *grade 2*. Kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dan larutan kemudian disaring menggunakan kertas saring dan nilai keasamannya diukur menggunakan pH meter. Perpaduan larutan ini dibuat dengan perbandingan konsentrasi limbah cair tempe yang bervariasi sedangkan untuk konsentrasi asap cair tempurung kelapa *grade 2* dibuat tetap yang ditunjukkan pada Tabel 4. Setiap perbandingan campuran ini diuji efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan kristal  $MgCO_3$ .

**Tabel 4.** Perbandingan konsentrasi campuran limbah cair tempe (T) dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* (A).

No	Perbandingan Inhibitor T:A	Konsentrasi (%)	
		T	A
1	1:3	0,010	0,030
2	2:3	0,020	0,030
3	3:3	0,030	0,030
4	4:3	0,040	0,030

### 3.3.4 Pembuatan Bibit Kristal

Bibit kristal dibuat dengan melarutkan  $\text{MgCl}_2$  anhidrat 23,75 g dan  $\text{NaHCO}_3$  21 g masing-masing dalam akuades dengan volume total 250 mL, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan suhu 60 °C untuk menghomogenkan larutan. Kedua larutan ini kemudian dicampurkan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit dengan suhu 60 °C hingga terbentuk endapan sempurna. Kemudian endapan dipisahkan dengan kertas saring. Endapan yang diperoleh dicuci dengan akuades untuk menghilangkan sisa-sisa cairan induk dan kotoran, kemudian dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Prosedur ini diulang beberapa kali sampai diperoleh jumlah bibit kristal sebanyak 50 gram dan cukup untuk melakukan prosedur berikutnya.

### 3.3.5 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal $\text{MgCO}_3$

Tahapan untuk menguji pengujian limbah cair tempe sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal  $\text{MgCO}_3$  dengan metode *seeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut:

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

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,20 M  $MgCl_2$  anhidrat dan larutan 0,20 M  $NaHCO_3$  masing-masing dilarutkan dalam 150 mL akuades dengan volume total 300 mL. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60-70 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan  $MgCl_2$  anhidrat 0,20 M dan larutan  $NaHCO_3$  0,20 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60-70 °C agar terbentuk larutan pertumbuhan kerak  $MgCO_3$  dengan konsentrasi 0,1 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter. Larutan  $MgCO_3$  yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL dan ditambahkan 0,20 g bibit kristal pada masing-masing gelas. Setelah itu letakkan dalam *water bath* pada suhu 60 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pada waktu 15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan  $MgCl_2$  dan  $NaHCO_3$  sebesar 0,30; 0,40; dan 0,50 M untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak  $MgCO_3$  tanpa penambahan inhibitor sebesar 0,15; 0,20; dan 0,25 M.

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

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,20 M  $MgCl_2$  anhidrat dan larutan 0,20 M  $NaHCO_3$  masing-masing dilarutkan ke dalam 150 mL campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan perbandingan konsentrasi 1:3 sehingga volume total 300 mL. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60-70 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan  $MgCl_2$  anhidrat

0,20 M dan larutan  $\text{NaHCO}_3$  0,20 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 60-70 °C agar terbentuk larutan pertumbuhan kerak  $\text{MgCO}_3$  0,10 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter. Larutan  $\text{MgCO}_3$  yang terbentuk dimasukkan ke dalam 5 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL dan ditambahkan 0,20 g bibit kristal pada masing-masing gelas. Setelah itu letakkan dalam *water bath* pada suhu 60 °C selama 15 menit untuk mencapai kesetimbangan. Pada waktu 15 menit pertama satu gelas diambil, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring yang sudah ditimbang, kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Selanjutnya, endapan ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan  $\text{MgCl}_2$  dan  $\text{NaHCO}_3$  sebesar 0,30; 0,40; dan 0,50 M serta variasi konsentrasi campuran inhibitor dengan perbandingan 1:0; 2:3; 3:3; dan 4:3 untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak  $\text{MgCO}_3$  dengan penambahan inhibitor sebesar 0,15; 0,20; dan 0,25 M.

### 3.4 Uji Ketahanan Inhibitor

Sebanyak 50 mL inhibitor limbah cair tempe 0,1% dimasukkan ke dalam gelas kimia 50 mL lalu ditutup dengan *plastic wrap*. Kemudian larutan tersebut didiamkan selama 2 bulan dalam suhu ruangan 25 °C ataupun dalam lemari es dan diamati perubahan yang terjadi. Prosedur ini diulang pada inhibitor asap cair tempurung kelapa *grade 2*, dan campuran inhibitor limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan perbandingan 1:3; 2:3; 3:3; dan 4:3.

### 3.5 Analisis 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*

*Office Excel* 2010. Untuk mengetahui efektivitas inhibitor campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dalam menghambat laju pertumbuhan kerak  $\text{MgCO}_3$  dengan menggunakan Persamaan 1 (Suharso *et al.*, 2019).

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

Dimana :

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

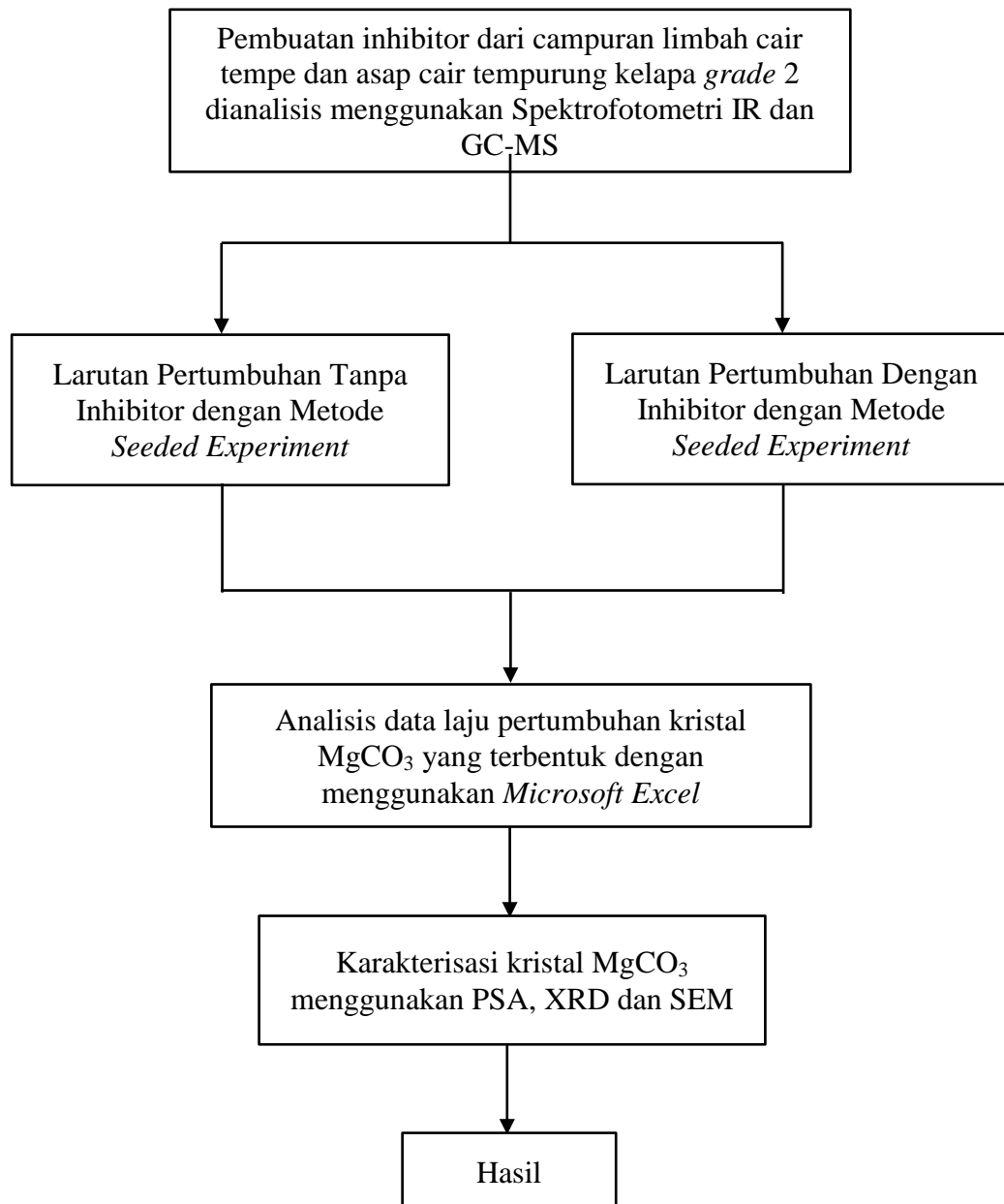
$C_b$  = berat endapan tanpa penambahan inhibitor pada saat kesetimbangan (g/L)

$C_0$  = berat endapan awal (g/L)

Morfologi kerak  $\text{MgCO}_3$  sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan SEM. Perubahan ukuran partikel dari kelimpahan  $\text{MgCO}_3$  pada masing-masing endapan dari setiap percobaan yang dilakukan juga dianalisis dengan PSA. Struktur kristal  $\text{MgCO}_3$  sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan XRD.

### 3.6 Diagram Alir

Secara menyeluruh alur dari penelitian ini terangkum pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 16.



**Gambar 16.** Diagram alir penelitian



## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

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

1. Senyawa campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat digunakan sebagai inhibitor kerak  $\text{MgCO}_3$ . Hal ini dibuktikan dengan menurunnya laju pertumbuhan kerak  $\text{MgCO}_3$  setelah penambahan campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*.
2. Nilai efektivitas penghambatan kerak  $\text{MgCO}_3$  tertinggi terdapat pada inhibitor campuran limbah cair tempe dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan perbandingan campuran inhibitor 4:3 yaitu sebesar 70,22% pada larutan pertumbuhan 0,10 M menggunakan metode *seeded experiment*.
3. Hasil pengamatan dengan SEM menunjukkan perubahan antara kerak  $\text{MgCO}_3$  tanpa penambahan dan dengan penambahan inhibitor TA (4:3). Morfologi kerak  $\text{MgCO}_3$  dengan penambahan inhibitor TA (4:3) memiliki ukuran lembaran yang lebih tipis, pendek dan rapuh dibandingkan dengan morfologi kerak  $\text{MgCO}_3$  tanpa penambahan inhibitor.
4. Hasil pengamatan dengan XRD tanpa penambahan dan dengan penambahan inhibitor menunjukkan adanya penurunan intensitas setelah penambahan inhibitor pada beberapa puncak difraksi  $2\theta$  yang menandakan terjadi distorsi pada struktur dari kristal  $\text{MgCO}_3$ .
5. Analisis menggunakan PSA menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kerak  $\text{MgCO}_3$  mengalami penurunan rata-rata dan nilai tengah ukuran partikel kerak  $\text{MgCO}_3$  setelah ditambahkan inhibitor TA (4:3).

## 5.2 Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak  $MgCO_3$  menggunakan inhibitor organik lain maupun campuran inhibitor organik yang mengandung lebih banyak senyawa efektif dalam menghambat laju pertumbuhan kerak sehingga efektivitas dari inhibitor menjadi lebih besar dan dapat tahan lama juga ekonomis serta tidak kembali menghasilkan limbah. Inhibitor yang digunakan juga dapat digunakan pada konsentrasi yang lebih rendah menggunakan metode lain seperti *unseeded experiment*. Selain itu, perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut tentang limbah cair tempe sebagai inhibitor agar dapat tahan lama tanpa menurunkan efektivitas dari inhibitor tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R., Eko, S., Agus, B. P. and Rudi, S. 2018. Extraction of Magnesium from Calcined Dolomite Ore Using Hydrochloric Acid Leaching. *Journal AIP Conference Proceeding*. 2(17): 1–6.
- Al-Deffeeri, N. S. 2006. Heat Transfer Measurement as a Criterion For Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plants in Kuwait. *Desalination*. 204: 423–436.
- Amjad, Z. 1995. Kinetics of Crystal Growth of Calcium Sulfate Dihydrate, the Influence of Polymer Composition, Molecular Weight, and Solution pH. *Canadian Journal of Chemistry*. 66: 81–85.
- Andrew, R. F., Odeta, Q., Bruce, W. A., Libor, K., Jia, L., Daniel, P. and Eugene, S. I. 2015. *Enhancing Magnesite Formation at Low Temperature and High CO<sub>2</sub> Pressure ; The Impact of Seed Crystals and Minor Components*. 395: 119–125.
- Angraeni, N. D. 2008. *Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) dalam Pemantauan Proses Oksidasi Magnetic Menjadi Hermatite*. Seminar Nasional Kampus Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Anwar, K. 2011. Efektivitas Alat Penukar Kalor Pada Sistem Pendingin Generator PLTA. *MEKTEK*. 1(3): 185-192.
- Aprian, R. D. 2022. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Asap Cair Tempurung Kelapa Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat (MgCO<sub>3</sub>). *Tesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Arifin, M. dan Komarudin. 1999. *Zeolit*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral. Bandung.
- Ariyanto, E. 2013. *Crystallisation and Dissolution Studies of Struvite in Aqueous Solutions*. Curtin University. Australia.
- Asnawati. 2001. Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak. *Jurnal Ilmu Dasar*. 2(1): 20-26.

- Badr, A. and Yassin, A. A. M. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *Journal of Applied Sciences*. 7(17): 2393-2403.
- Baugh, P. J. 1993. *Gas Chromatography: A Practical Approach*. Oxford University Press. United Kingdom.
- Bhatia, A. 2003. *Cooling Water Problem and Solutions*. Continuing Education and Development, Inc. New York.
- Bremere, I. M., Kennedy, M., Michel, R., Emmerik, V., Witkamp, J. and Schippers, J. C. 1999. Controlling Scaling in Membrane Filtration Systems Using a Desupersaturation Unit to Prevent Scaling. *Desalination*. 124: 51-62.
- Brown, G. G. 1978. *Unit Operation*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Chauhan, K., Sharma, P. and Chauhan, G. S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scales and Deposits*. 701-720.
- Cheng, W., Li, Z. and George, P. D. 2009. Effects of Temperature on the Preparation of Magnesium Carbonate Hydrate by Reaction of  $MgCl_2$  with  $Na_2CO_3$ . *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 17(4): 661-666.
- Choi, H., Choi, H., Inoue, M. and Sengoku, R. 2017. Control of The Polymorphism of Calcium Carbonate Produced by Self-Healing in The Cracked Part of Cementitious Materials. *Applied Sciences*. 546(7): 1-16.
- Clark. 2007. *Kimia Dasar Prinsip dan Terapan Alkohol*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Cotton, F. A. and Wilkinson, G. 1989. *Basic Inorganic Chemistry*. John Willey and Sons. New York.
- Cowan, J. C. and Weintritt, D. J. 1976. *Water Formed Scale Deposit*. Gulf Publishing Co. Texas.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A. and King, G. 1999. Fighting Scale-Removal and Prevention. *Oilfield*. 11: 30-45.
- Cullity, B. D. 1987. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wisley. Publishing Company Inc. New York.
- Darmadji, P. 1995. *Produksi Asap Cair dan Sifat Fungsionalnya*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Darmadji, P. 1996. Aktivitas Antibakteri Asap Cair dari Berbagai-bagai Limbah Pertanian. *Agritech*. 16(4): 19-22.
- Davis, R. V., Carter, P. W., Kamrath, M. A., Johnson, D. A. and Reed, P. E. 1995. The Use of Modern Methods in The Development of Calcium Carbonate Inhibitors for Cooling Water Systems. *Mineral Scale Formation and Inhibition*. 33-46.

- Dera, N. S. 2018. Pengaruh pH Larutan Terhadap Nukleasi dan Pertumbuhan Kristal Barium Sulfat didalam Pipa Beraliran Laminar: Pengamatan Kristal Menggunakan SEM-EDX dan XRD. *Journal of Infrastructure and Science Engineering*. 1(2): 1-45.
- Dhirendra, K., Lewis, S., Udupa, N. and Atin, K. 2009. Solid Dispersion : Review. *Journal Pharmaceutical Science*. 22(2): 234-246.
- 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. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 53: 2586-2593.
- Duccini, Y., Dufour, A., Harm, W. M., Sanders, T. W. and Weinstein, B. 1997. *High Performance Oilfield Scale Inhibitors*. Nace International. New Orleans. Los Angeles.
- Ertl, P., Rohde, B. and Selzer, P. 2000. Fast Calculation of Molecular Polar Surface Area as a Sum of Fragment-Based Contributions and Its Application to The Prediction of Drug Transport Properties. *Journal of Medicinal Chemistry*. 43: 3714–3717.
- Fessenden, F. 1982. *Kimia Organik Jilid 1 Edisi 3*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Gandjar, I. G. dan Rohman, A. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar Yogyakarta.
- Girard, J. P. 1992. *Technology of Meat and Meat Product Smoking*. Ellis Harwood. New York.
- Giulietti, M. C., Bernardo, A., Silva, A. T. C. R. and Crestani, C. 2010. *Integration of The Process Of Fructose Crystallization By Addition Of Anti-Solvent*. Department of Chemical Engineering. Federal University of São Carlos. Brazil.
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi Dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*. Mitra Grup. Medan.
- Handayani, D., Ranova, R., Bobbi, H., Farlian, A., Almahdi, dan 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.
- Hanke, L. D. 2001. *Handbook of Analytical Methods for Materials*. Materials Evaluation and Engineering Inc. Plymouth.
- Hasson, D. and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. 46: 97-104.
- Hendayana, S. 2006. *Kimia Pemisahan (Metode Kromatografi dan Elektroforesis Modern)*. Rosda. Bandung.

- Hites, R. A. 1997. *Gas Chromatography Mass Spectrometry, Handbook of Instrumental Techniques For Analytical Chemistry*. Prentice Hall PTR. United States.
- Hossaeen, A. 2000. *Particle Size Analyzer*. King Fahd Petroleum and Mineral. Arab Saudi.
- Jayanudin dan Suhendi, E. 2012. Identifikasi Komponen Kimia Asap Cair Tempurung Kelapa dari Wilayah Anyer Banten. *Jurnal Agroekotek*. 4(1): 39- 46.
- Jones, F., Oliveira, A., Rohl, A. L., Parkinson, G. M., Ogden, M. I. and Reyhani, M. M. 2002. Investigation Into The Effect of Phosphonate Inhibitors on Barium Sulfate Precipitation. *Journal Crystal Growth*. 424(9): 237–239.
- Kazakevich, Y. dan Brutto, L. 2007. *HPLC for Pharmaceutical Scientist*. New York. John Wiley and Sons. Inc.
- Kemmer, F. N. 1979. *The Nalco Water Hand Book*. Nalco Chemical Co. McGraw Hill Book CO. New York.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Khopkar, S. M. 2008. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kurniawan, Y. H. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) menggunakan Metode *Unseeded Experiment*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Lestari, D. E. 2008. *Kimia Air, Pelatihan Operasional, dan Supervisor Reaktor Riset*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN. Serpong.
- Lestari, D. E., Sunaryo, G. R., Yulianto, Y. E., Alibasyah, S. dan Utomo, S. B. 2004. *Kimia Air Reaktor Riset G. A. Siwabessy*. Makalah Penelitian P2TRR dan P2TKN BATAN. Serpong.
- 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. Study of Corrosion Behavior of Copper in Acidic Solutions Containing Cetyltrimethylammonium Bromide. *Journal of Electrochemistry*. 148: 482-488.
- Maley, M. 1999. Inhibition of Calcite Nucleation and Growth Using Phosphonate. *Thesis*. Curtin University of Technology Western. Australia.
- Mandela, B. S. 2017. Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat  $\text{MgCO}_3$  Pada Laju Alir 30 mL/menit dengan Konsentrasi  $\text{Mg}^{2+}$  3000 ppm dan 4000 ppm. *TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*. 17: 26-39.

- Mansyur, T., Dhalika, I., Hernaman, A., Budiman, R.Z., Islami, dan Wiyatna. 2015. Produksi Asam Laktat dalam Fermentasi Anaerob Limbah Air Kedelai dari Industri Tempe. *Prosiding Hasil Penelitian. 2*: 524-525.
- McNair, H. M. dan Bonelli, E. J. 1998. *Dasar Kromatografi Gas*. ITB. Bandung.
- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Sediono, W., Mangestiyono, W. and Sutrisno. 2012. Development of a Versatile Laboratory Project for Scale Formation and Control. *Education for Chemical Engineers. 7*: 78-84.
- Muzakir, A., Setiabudi, A. R. dan Hardian. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI PRESS. Bandung.
- Nanotech. 2012. *Jasa Karakterisasi PSA (Particle Size Analyzer) dan Zeta Potensial*. Balai Inkubator Teknologi Serpong. Tangerang.
- Natasha, N.C., Irawan, J., Sulistiyono, E., Yunita, F.E., dan Rhamdani, A.R. 2019. Uji Karakteristik Magnesium Karbonat Sintetis Dari Mineral Dolomit. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Ni, C. 2013. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. In: Wang, Q.J., Chung, YW. (eds) *Encyclopedia of Tribology*. Springer, Boston.
- Notohadiprawiro, T. 1999. *Tanah dan Lingkungan*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta.
- Nugraha, M. S. 2021. Studi Penambahan Limbah Cair Tempe Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Nurhasan, P. 1991. *Penanganan Air Limbah Pabrik Tahu-Tempe*. Bintari: Yayasan Bina Karya Lestari. Jakarta.
- Nurhasanah, E. 2008. Perancangan Alat untuk Membuat Asap Cair dari Tempurung Kelapa dan Karakterisasinya. *Tesis*. Pascasarjana Kimia Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Patton, C. 1981. *Oilfield Water System 2 ed*. Cambeel Petroleum Series. Oklahoma. 49-79.
- Pavia, D. L. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques. 4th Edition*. Brooks Cole/Thomson. United State.
- Puspawati, S. W. 2017. Alternatif Pengolahan Limbah Industri Tempe dengan Kombinasi Metode Filtrasi dan Fitoremediasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Putra, E. D. L. 2004. *Kromatografi Cair Kinerja Tinggi dalam Bidang Farmasi*. Jurusan Farmasi Fakultas dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Pundir, R.K. and Jain, P. 2010. Screening for antifungal activity of commercially available chemical food preservatives. *International Journal of Pharmaceutical Science Review and Research*. 5(2). 25-27.
- Rabek, J. F. 1980. *Experimental Methods in Polymer Chemistry: Physical Principles and Applications*. John Wiley and Sons. New York.
- Rachmat, E. H. 2004. Analisis Senyawa Volatil dalam Ikan Tongkol dengan Metode Heatspace Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography Mass Spectrometry (HS-SPME/GC-MS). *Skripsi*. Universitas Lampung. Lampung.
- Raharjo, S. 2020. *Pembentukan dan Pengendalian Kerak Mineral di Dalam Pipa*. Universitas Muhamadiyah Semarang. Semarang.
- Rahmania, Y. 2012. Studi Pendahuluan Ekstrak Kulit Kakao (*Theobroma Cacao L.*) dan Nalco 72990 Sebagai Inhibitor Pembentuk Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Unila. Lampung.
- Ratna, P. S. 2011. *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*. Fakultas Teknik UI. Depok.
- Ray, B. 2001. *Undamental Food Microbiology 2<sup>nd</sup> Ed*. CRC Press. Boca Raton.
- Rini, H. U. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). *Tesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Said, I. M. 1999. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Tahu-Tempe Dengan Proses Biofilter Anaerob dan Aerob*. Direktorat Teknologi Lingkungan. Jakarta.
- 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.
- Santosa, E. A. dan Endah, R. 2020. Karakterisasi Fenotipik dan Aktivitas Antimikrobia Bakteri Asam Laktat dari Limbah Produksi Tempe. *Jurnal Sains Dasar*. 9(1): 1–10.
- Sarwono. 2005. *Membuat Tempe dan Oncom*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Sastrohamidjoyo, H. 1982. *Spektrometri Massa*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Setiososari, E. 2018. Studi Penambahan Asap Cair sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Severtson, S. J., Prasad, Y. D., Philip, W. C. and Peter, E. R. 1999. Mechanism and Chemical Control of  $\text{CaCO}_3$  Scaling in The Kraft Process. *Tappi Journal*. 832(6): 167-174.



- Shakkthivel, P. and Vasudevan, T. 2006. Acrylic Acid-diphenylamine Sulphonic Acid Copolymer Threshold Inhibitor for Sulphate and Carbonate Scales in Cooling Water Systems. *Desalination*. 197(3): 179-189.
- Shiddiq, F. M. 2014. Pemanfaatan Biji Pinang Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan Metode *Unseeded Experiment*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Silverstein, R. M., Blasser, G. C. and Morrill, T. C. 1998. *Spectrometric Identification of Organic Compound 6th edition*. John Wiley and Son, Inc. New York.
- Sitorus, M. 2009. *Spektroskopi (Elusidasi Struktur Molekul Organik)*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sousa, M. F. and Bertran, C. A. 2014. New Methodology Based on Static Light Scattering Measurements for Evaluation of Inhibitors for in Bulk Crystallization. *Journal of Colloid and Interface Science*. 57-64.
- Stamatakis, E., Chatzichristos, C., Sagen, J., Stubos, A. K., Palyvos, I., Muller, J. and Stokkan, J. A. 2006. An Integrated Radiotracer Approach for The Laboratory Evaluation of Scale Inhibitors Performance in Geological Environments. *Chemical Engineering Science*. 61: 7057-7067.
- Steven, M. P. 2001. *Polymer Chemistry: An Introduction*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Suharso, Parkinson, G. and Ogden, M. 2002. The Mechanism of Borax Crystallization Using in Situ Optical Microscopy and AFM. *ACEM17. Australian Conference on Electron Microscopy*. 116: 90.
- Suharso. 2004. Effect of Sodium Lauryl Sulphate (SLS) on Growth Rate and Morphology of Borax Crystals. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 10(3): 165-172.
- Suharso, Parkinson, G. and Ogden, M. 2004. Growth Rate Dispersion (GRD) of the (010) Face of Borax Crystals in Flowing Solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 4(3): 145-148.
- Suharso. 2007. Effect of Sodium Dodecylbenzenesulfonic Acid (SDBS) on the Growth Rate and Morphology of Borax Crystal. *Indonesian Journal of Chemistry*. 7(1): 5-9.
- Suharso, Buhani, Tati, S. dan Aprilia, L. 2007a. *Sintesis C- Metil-4,10,16,22 Tetrametoksi Kaliks[4]Arena dan Peranannya sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )*. Laporan Akhir Program Insentif. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, Parkinson, G. and Ogden, M. 2008. AFM Investigation of Borax (100) Face: Two-Dimensional Nucleation Growth. *Advances in Natural and Applied Sciences*. 2(3): 135-141.

- Suharso. 2009a. In Situ Measurement of the Growth Rate of the (111) Face of Borax Single Crystal. *Jurnal Matematika dan Sains*. 10(3): 101-106.
- Suharso. 2009b. Ex Situ Investigation of Surface Topography of Borax Crystals by AFM: Relation Between Growth Hillocks and Supersaturation Interpreted by Spiral Growth Theory. *Jurnal Matematika dan Sains*. 11(4): 140-145.
- Suharso, Buhani, dan Tati, S. 2009c. The Role of C-Methyl-4,10,16,22 Tetramethoxy Calix[4] Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Scale Formation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(2): 206-210.
- Suharso. 2010. Growth Rate Distribution of Borax Single Crystals on the (001) Face Under Various Flow Rates. *Indonesian Journal of Chemistry*. 6(1): 16-19.
- Suharso, Buhani, Bahri, S. dan Endaryanto, T. 2010. The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ) Scale Formation. *Asian Journal of Research Chemistry*. 3(1): 183-187.
- Suharso dan Buhani. 2011. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *Jurnal Natur Indonesia*. 13(2): 100-104.
- Suharso, Buhani, dan Aprilia, L. 2013. Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). *Prosiding Semirata FMIPA*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix [4] Arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. 26(18): 6155–6158.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulangan Kerak Edisi 2*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Suharso, Buhani, Yuwono, S. D. and Tugiyono. 2017a. Inhibition of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment*. 68: 32-39.
- Suharso, Reno, T., Endaryanto, T. and Buhani. 2017b. Modification of Gambier Extracs as Green Inhibitor of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering*. 18: 1-6.
- Suharso and Buhani. 2019. *Penghambat Kerak Ramah Lingkungan*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat. Universitas Lampung. ISBN: 978-623-228-044-1.
- Supratman, U. 2010. *Ekiilibrium Penentuan Senyawa Organik*. Universitas Padjajaran. Bandung.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.

- Syahputra, R. 2004. *Modul Pelatihan Instrumentasi AAS*. Laboratorium Instrumentasi UII. Yogyakarta.
- Syahri, M. dan Sugiarto, B. 2008. *Scale Treatment* pada Pipa Distribusi Crude Oil Secara Kimiawi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN. Yogyakarta.
- Syahrurachman, A. 1994. *Mikrobiologi Kedokteran Edisi Revisi*. Bima Rupa Aksara. Jakarta.
- 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.
- Tranggono, Suhardi, Setiadji, B., Supranto, Darmadji P. dan Sudarmanto. 1996. Identifikasi Asap Cair dari Berbagai Jenis Kayu dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 1: 15-24.
- Unluer, C., and Al-Tabbaa, A. 2013. Characterization of Light and Heavy Hydrated Magnesium Carbonates Using Thermal Analysis. *J Therm Anal Calorim*. 35: 393-406.
- Wafiroh, S. 1995. *Pemurnian Garam Rakyat Dengan Kristalisasi Bertingkat*. Laporan Penelitian. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Wang, Y., Moo, Y. X., Chen, C., Gunawan, P. and Xu, R. 2010. Fast Precipitation of Uniform CaCO<sub>3</sub> Nanospheres and Their Transformation to Hollow Hydroxyapatite Nanospheres. *Journal of Colloid and Interface Science*. 352: 393-400.
- Whitten, K. 2014. *Chemistry Tenth Edition*. Cengage Learning. USA.
- Yang, Q., Liu, Y., Gu, A., Ding, J. and Shen, Z. 2001. Investigation of Calcium Carbonate Scaling Inhibition and Scale Morphology by AFM. *Journal of Colloid Interface Science*. 240(2): 608–621.
- Yulistiani, R. 2008. *Monograf Asap Cair Sebagai Bahan Pengawet Alami Pada Produk Daging dan Ikan*. UPN Veteran Jawa Timur. Surabaya. 50-53.
- Yuni, N. M. S. 2013. Isolasi, Karakterisasi, dan Identifikasi DNA Bakteri Asam Laktat (BAL) yang Berpotensi Sebagai Antimikroba dari Fermentasi Markisa Kuning (*Passiflora edulis var. flavicarpa*). *Thesis*. Universitas Andalas. Padang.
- Zeihner, E. H. K., Bosco, H., and Williams, K. D. 2003. Novel Antiscalant Dosing Control. Elsevier Science B. V. *Desalination*. 157: 209–216.