

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR SABUT KELAPA SEBAGAI  
INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO<sub>3</sub>) MENGGUNAKAN  
METODE *UNSEDED EXPERIMENT***

**(Skripsi)**

**Oleh**

**SRI BUDI ASIH**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## ABSTRAK

### STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR SABUT KELAPA SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO<sub>3</sub>) MENGGUNAKAN METODE *UNSEEDED EXPERIMENT*

Oleh

**SRI BUDI ASIH**

Permasalahan yang sering dijumpai pada bidang industri khususnya industri yang menggunakan pipa sebagai proses aliran fluida seperti industri minyak dan gas adalah terbentuknya kerak. Salah satu kerak yang banyak dijumpai yaitu kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>). Oleh karena itu, pada penelitian ini telah digunakan asap cair sabut kelapa sebagai inhibitor ramah lingkungan untuk kerak CaCO<sub>3</sub> dengan menggunakan metode tanpa penambahan bibit kristal (*unseeded experiment*) pada variasi larutan pertumbuhan CaCO<sub>3</sub> konsentrasi 0,025; 0,038; 0,050; dan 0,063 M serta pada variasi penambahan inhibitor 5, 15, 25, dan 35%. Nilai persen efektivitas tertinggi terjadi pada larutan pertumbuhan 0,025 M dengan penambahan inhibitor sebesar 35% yaitu sebesar 88,41%. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dan *x-ray diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa kerak CaCO<sub>3</sub> tanpa inhibitor terdiri dari fasa kalsit dan aragonit, sementara setelah penambahan inhibitor terdiri dari fasa kalsit dan vaterit. Hasil analisis kerak CaCO<sub>3</sub> menggunakan *particle size analyzer* (PSA) menunjukkan bahwa kerak CaCO<sub>3</sub> mengalami penurunan distribusi ukuran partikel sebelum dan setelah ditambahkan inhibitor yang dapat dilihat dari rata-rata (*mean*) yaitu dari 10,00 menjadi 4,889  $\mu\text{m}$  dan nilai tengah (*median*) yaitu dari 9,359 menjadi 4,467  $\mu\text{m}$ . Asap cair sabut kelapa terbukti dapat digunakan sebagai inhibitor untuk pertumbuhan kerak CaCO<sub>3</sub> menggunakan metode *unseeded experiment*.

**Kata kunci:** Asap cair sabut kelapa, CaCO<sub>3</sub>, industri, inhibitor, kerak.

## **ABSTRACT**

### **A STUDY ON THE ADDITION OF COCONUT COIR LIQUID SMOKE AS CALCIUM CARBONATE (CaCO<sub>3</sub>) SCALE INHIBITOR USING THE UNSEEDED EXPERIMENT METHOD**

By

**SRI BUDI ASIH**

The problem which is frequently encountered in the industrial sector especially industries that use pipes as a fluid flow process for instance the oil and gas industry is the scaling formation. One of the considerable scale which easily be discovered is calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>). Therefore, this research used coconut coir liquid smoke as a green inhibitor for CaCO<sub>3</sub> scale by using unseeded experiment method at variations in the CaCO<sub>3</sub> growth solution with concentration of 0.025; 0.038; 0.050; and 0.063 M respectively as well as variations in the addition of inhibitors as much as 5, 15, 25, and 35% sequentially. Afterwards, the highest effectiveness percent value occurred in 0.025 M growth solution with the addition of 35% inhibitor that was equal to 88.41%. Based on the analysis results of scanning electron microscopy (SEM) and x-ray diffraction (XRD) showed that the CaCO<sub>3</sub> scale without inhibitors consisted of calcite and aragonite phases, while after the addition it consisted of calcite and vaterite phases. Alternately, the particle size analyzer (PSA) results of CaCO<sub>3</sub> scale indicated that the particle size distribution of CaCO<sub>3</sub> scale decreased after it was added by inhibitor which can be seen from the mean started from 10.00 to 4.889 μm and the median from 9.359 to 4.467 μm. All in all, coconut coir liquid smoke has been proven to be used as an inhibitor for the growth of CaCO<sub>3</sub> scale using the unseeded experiment method.

**Kata kunci:** Coconut coir liquid smoke, CaCO<sub>3</sub>, industry, inhibitor, scale.

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR SABUT KELAPA SEBAGAI  
INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT ( $\text{CaCO}_3$ ) MENGGUNAKAN  
METODE *UNSEDED EXPERIMENT***

Oleh

**SRI BUDI ASIH**

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

Judul Skripsi : **STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR SABUT  
KELAPA SEBAGAI INHIBITOR KERAK  
KALSIUM KARBONAT (CaCO<sub>3</sub>)  
MENGUNAKAN METODE *UNSEEDED  
EXPERIMENT***

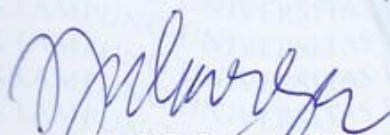
Nama Mahasiswa : **Sri Budi Asih**

No. Pokok Mahasiswa : 1517011126

Jurusan : Kimia

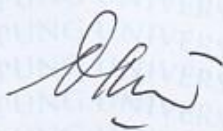
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



  
**Prof. Suharso, Ph.D.**  
NIP 49690530 199512 1 001

  
**Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**  
NIP 19720530 200003 2 001

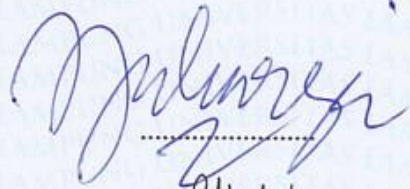
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

  
**Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T.** ✓  
NIP 19740705 200003 1 001

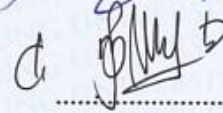
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

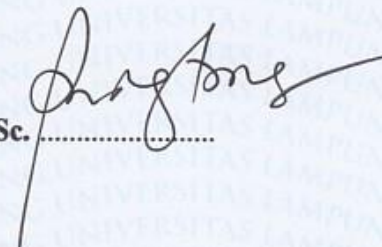
Ketua : **Prof. Suharso, Ph.D.**



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



Penguji  
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Drs. Suratman, M.Sc.**  
NIP. 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **25 September 2019**

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN SKRIPSI**

Nama : Sri Budi Asih

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011126

Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul:

“Studi Penambahan Asap Cair Sabut Kelapa Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*”

Adalah benar karya saya sendiri dan saya juga 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, 2 Oktober 2019

Menyatakan,



Sri Budi Asih  
NPM 1517011126

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sukoharjo pada tanggal 30 Juni 1997, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Sarimin dan Ibu Warsini.

Penulis menyelesaikan pendidikan di SD N 3 Sukoharjo 3 pada tahun 2009, SMP N 1 Sukoharjo pada tahun 2012, dan SMA N 2 Pringsewu pada tahun 2015. Saat SMA penulis aktif dalam organisasi Karya Ilmiah Remaja (KIR). Pada tahun 2015 penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur ujian tertulis Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) dan sebagai penerima beasiswa Bidik Misi angkatan keenam.

Selama menjadi mahasiswi kimia, penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Anorganik I angkatan 2017 pada tahun 2019. Penulis juga mengikuti aktivitas organisasi, dimulai dengan menjadi Kader Muda Himaki (KAMI) dan Anggota Muda Rois (AMAR) pada tahun 2015. Penulis juga aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA periode 2016/2017 dan 2017/2018 sebagai anggota Biro Usaha Mandiri. Tahun 2017 penulis menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) dengan judul Studi Penambahan Asap Cair Sabut Kelapa sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan Menggunakan Metode *Unseeded Experiment* di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Penulis melaksanakan



Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjungrejo, Kecamatan Pulaupanggung,  
Kabupaten Tanggamus pada Juli-Agustus 2018.

## MOTTO

Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu,  
dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu.

Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui

(Q.S. Al-Baqarah 216)

***Someone is sitting in the shade today  
because someone planted a tree a long time ago  
(Warren Buffett)***

Though no one can go back and make a brand-new start.  
Anyone can start from now and make a brand-new ending

(Carl Bard)

*Impianku bukanlah untuk menjadi yang terbaik.  
Tapi menjadi seseorang yang tidak akan  
membuat diriku sendiri malu.*

*(Key SHINee)*

**Perlakukanlah orang lain sebagaimana kamu ingin diperlakukan,  
mulailah belajar untuk bagaimana menjadi baik, dan lakukanlah pencitraan  
dengan fake smile karena orang lain tidak perlu tahu soal keterpurukanmu.**

**Love your self, ingat membencimu adalah tugas orang lain.**

**(Sri Budi Asih)**

Memangnya kenapa kalau hidup kita tak sempurna?

Toh ini bukanlah jahah.

(Nouman Ali Khan)

*Segala Puji dan Syukur Kepada Allah SWT Kupersembahkan  
Skripsi ini kepada:*

*Kedua orang tuaku, bapak dan mamakku tersayang yang  
selalu memberikan do'a, kasih sayang dan menjadi  
penyemangatku di dalam setiap langkah.*

*Kakak-kakakku, adikku, dan keponakan-keponanku, serta  
seluruh keluarga besarku yang selalu memberikan bantuan,  
dukungan, penyemangat, dan kebahagiaan dalam hidupku.*

*Dengan rasa hormat kepada Prof. Suharso, Ph.D., Dr. Mita  
Rilyanti, M.Si., dan Prof. Dr. Rudy T.M. Situmeang, M.Sc.  
serta seluruh Dosen Jurusan Kimia yang telah membimbing  
dan mendidikku selama menempuh pendidikan di kampus.*

*Sahabat dan teman-temanku yang telah memberikan warna  
dan kebahagiaan, serta menemani dan berjuang bersamaku.*

*Dan almamater tercinta, Universitas Lampung*

## SANWACANA

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala bentuk rahmat, hidayah dan ridho-Nya yang tak bertepi serta karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Penambahan Asap Cair Sabut Kelapa sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebagai referensi terbaik umat dalam menjalankan kehidupan dunia untuk menyambut kehidupan kelak tiada akhir di akhirat. Semoga kita semua tergolong umatnya yang istiqomah mengikuti tuntunannya.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan berupa dukungan baik material maupun moril dari awal penulis masuk kuliah hingga akhir menyelesaikan studi S1 yang ditandai dengan selesainya skripsi ini, terutama kepada:

1. Kepada kedua orang tuaku tercinta Bapak Sarimin da Ibu Warsini yang telah memberikan segala usaha dan do'a, cinta dan kasih, dukungan moral dan spiritual yang sampai saat ini tak pernah berhenti. Bapak Mamak terimakasih atas segala kasih sayang yang tak terhingga untuk penulis. Semoga Allah selalu memberikan kesehatan, rezeki dan kebahagiaan dunia dan akhirat kepada kalian *aamiin Allahumma aamiin*.
2. Adik dan kawan berantem, Arif Gunawan dan kakak-kakakku tersayang mba Sarti, mba Erni, mas Ali, dan mas Iyan terimakasih atas do'a dan dukungan yang kadang tak terlihat namun memberi motivasi tersendiri kepada penulis. Semoga Allah senantiasa memberikan kebahagiaan dan kemudahan untuk kalian.
3. Keponakan-keponakanku tersayang Dhava, Alfian, dan Risky, terimakasih telah memberikan warna dalam hidup bule'mu ini sekalipun sekarang mulai pada bandel. Semoga kalian menjadi anak yang sholeh dan orang yang sukses kelak, aamiin.
4. Bapak Prof. Suharso, Ph. D. selaku pembimbing I atas segala kebaikan, ilmu, motivasi, kritik, saran, kesabaran dan bimbingan sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian dan skripsi ini dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan keberkahan atas semua yang beliau berikan. Aamiin.
5. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku pembimbing II atas segala saran, nasehat, kesabaran, keikhlasan, bimbingan, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam perencanaan dan penyelesaian penelitian serta skripsi ini. Semoga Allah

senantiasa memberikan ridho-Nya dan membalas semuanya dengan kebaikan.

6. Bapak Prof. Dr. Rudy T. Mangapul Situmeang, M.Sc. selaku pembahas atas segala bimbingan, kritik, saran, dan ilmu bermanfaat yang telah diberikan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan keberkahan atas semua yang sudah diberikan.
7. Ibu Rinawati, Ph.D. selaku pembimbing akademik, penulis mengucapkan terimakasih banyak atas bimbingan, perhatian, nasehat, motivasi, dan kesabaran dalam membimbing penulis terkait permasalahan akademik selama masa perkuliahan ini.
8. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah memberi banyak masukan dan saran.
9. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung beserta jajarannya.
10. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila atas seluruh ilmu, bimbingan, perhatian dan pengalaman yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik berkat ilmu yang telah diberikan, serta terimakasih kepada staff administrasi Jurusan Kimia FMIPA Unila yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan persyaratan administrasi selama kuliah. Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan-kebaikan bapak dan ibu.

11. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si selaku Kepala Laboratorium Kimia Anorganik dan Fisik atas izin penggunaan laboratorium yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan baik.
12. Mba Liza selaku Laboran Laboratorium Kimia Anorganik/fisik yang telah banyak memberikan arahan, membantu penulis dalam penyediaan alat untuk penelitian.
13. Bapak, Ibu guru dari TK, SD, SMP, dan SMA yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, pendidikan akhlak serta pengalaman kepada penulis.  
Terimakasih banyak, semoga bapak ibu selalu dalam lindungan dan diberikan *Jannah-Nya*.
14. Sahabat-sahabat SMA-KU yang suka gonta-ganti nama GRUP: Agnes, Ana, Anding, Birgita, Dhukha, dan Luluk terimakasih telah menjadi teman yang baik dan menyenangkan semoga selalu terpelihara seperti ini selamanya.  
Terimakasih juga udah sabar menghadapi sifatku yang sebenarnya nggak banget ini hehe. Semoga kita menjadi orang yang sukses dunia akhirat ya, Aamiin.
15. Teruntuk CCA-KU Dira, Yanti, Alifa, Nadya, Widya, Intan, Nurmala, Aulia, dan Meitri terimakasih sudah menjadi warna terang dalam dunia perkuliahan yang suram ini dan selalu ada saat suka maupun duka yang bisa tahan menolerir sifatku yang mayan jahat dan sadis ini. Berkat kalian kegiatan belajar terasa menyenangkan, terimakasih atas semua, kritik, saran, bantuan,

dan kepeduliannya selama kuliah. Semoga kita sukses bersama dalam meniti karir dan kembali dipertemukan di *Jannah*. Aamiin.

16. *Aco's Squad*-ku terimakasih gengs telah mengiringi langkahku sepanjang masa-masa sibuk di LAB, masa-masa revisian, dan jadi timses seminar-seminarku. Alhamdulillah ya kita bisa bareng nyampe akhir per-Skripsian ini. Semoga semua langkah kita selanjutnya adalah yang terbaik. Aamiin.

17. Teruntuk Fulan yang belum diketahui identitasnya, terimakasih telah menjadi motivasiku menjadi lebih baik. Aku tulis disini supaya kamu nanti merasa bangga pas baca skripsi ini karena termasuk menjadi motivatorku. Semoga selalu dalam lindungan Allah SWT dan senantiasa terjaga. Semoga sukses dunia akhirat (kan aku juga yang seneng kalok kamu sukses) dan semoga kita segera dipertemukan. Pesanku semoga seumpama saat ini kamu ada yang jagain, kamu nggak boros-boros dan nggak macem-macem ya. Aamiin.

18. Teman-teman sekalian mulai dari temen seper-Lab-an Desi, Eka, Rifka, Puput, dan yang lainnya. Temen sekelas, Siwi, Mentari, dan yang lainnya. Kance zaman maba Siska, Widya, dan duo Lia. Temen-temen seangkatan Chem15try khususnya temen-temen yang jadi temen chatku dan ngereply story ku yang nyampah itu maklum selama kuliah jombs, makasih ya temen-temen semua untuk 4 tahunan selama kuliah ini. Semoga kita semua sukses, Aamiin.

19. Kakak tingkat 2013 dan 2014 khususnya *Scale'14* Mba Reni, Mba Uci, Kak Yusuf, Kak Fikri, dan Kak Hafid terimakasih kakak-kakak sekalian atas bimbingan dan bantuannya selama ini. Semoga Allah membalas kebaikan



kakak-kakak sekalian. Aamiin.

20. Adik-adik angkatan 2016, 2017, dan 2018 yang tidak bisa saya sebutkan.

Terimakasih atas persaudaraan dan kekeluargaan kita selama ini, semoga kita semua menjadi orang-orang sukses dan teman-teman sekalian lekas menyelesaikan pendidikan.

21. Partner dan keluarga baru selama KKN, Meynisa, Selvi, Nurmei, Ferdy,

Agung, dan Robby. Bapak Heri/ Sami, Santi, dan Bu Sami, serta orang-orang yang menjadi kenalan selama KKN. Terimakasih untuk 32 hari yang berarti dan akan tetap terkenang. Semoga kalian semua senantiasa dalam lindungan Allah SWT dan dipermudah segala urusannya. Aamiin.

22. Penghuni Wisma Doroty Mba Indah, Nur, Aisy, Tomy, Galih, Hesti, Tari,

Mega, dan Puspa. Kalian adalah teman kosan terbaik (4 tahun tetep). Semoga kita menjadi orang yang beruntung dan sukses, Aamiin.

23. Almamater tercinta Universitas Lampung

24. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala ketulusan, bantuan, dukungan, dan doa. Semoga kebaikan yang sudah diberikan selama ini mendapat balasan dari Allah SWT.

Bandar Lampung,      Oktober 2019  
Penulis

Sri Budi Asih

## DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | i       |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | iv      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | v       |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                                       | 1       |
| A. Latar Belakang dan Masalah .....                               | 1       |
| B. Tujuan Penelitian .....  | 5       |
| C. Manfaat Penelitian .....                                       | 6       |
| <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                 | 7       |
| A. Pengendapan Senyawa Anorganik .....                            | 7       |
| B. Kerak.....   | 8       |
| C. Pembentukan Endapan dan Kerak .....                            | 9       |
| 1. Nukleasi .....   | 10      |
| 2. Pertumbuhan Kristal .....                                      | 10      |
| 3. Aglomerasi.....  | 10      |
| D. Faktor Pembentuk Kerak .....                                   | 12      |
| 1. Kualitas Air.....  | 12      |
| 2. Temperatur Air .....   | 13      |
| 3. Laju Alir Air .....  | 13      |
| E. Kristal .....  | 15      |
| F. Faktor Pembentukan Kristal .....                               | 15      |
| 1. Kristalisasi .....   | 16      |
| 2. Kelarutan Endapan.....   | 17      |
| 3. Derajat Lewat Jenuh (Supersaturasi) .....                      | 18      |
| G. Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ).....                      | 18      |
| H. Pengaruh Terbentuknya Kerak $\text{CaCO}_3$ .....              | 20      |
| I. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak $\text{CaCO}_3$ .....     | 21      |
| 1. Pengendalian pH.....   | 21      |
| 2. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air .....                     | 21      |
| 3. Penggunaan Inhibitor Kerak .....                               | 22      |
| J. Mekanisme Kerja Inhibitor .....                                | 23      |
| 1. Penghambatan Ambang Batas ( <i>Threshold Inhibition</i> )..... | 23      |

|   |    |
|---|----|
| 2. Khelat ( <i>Chelates</i> ).....  | 24 |
| 3. Distorsi Kristal ( <i>Crystal Distortion</i> ).....  | 25 |
| 4. Dispersi Kristal ( <i>Crystal Dispersion</i> ).....  | 25 |
| K. Asap Cair .....  | 30 |
| L. <i>Unseeded Experiment</i> .....   | 33 |
| M. Analisis Menggunakan IR, GC-MS, SEM, XRD, dan PSA.....   | 33 |
| 1. Spektrofotometer <i>Infra Red</i> (IR) .....   | 33 |
| 2. <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS).....   | 35 |
| 3. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....   | 37 |
| 4. <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....   | 40 |
| 5. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....   | 42 |
| <b>III. METODE PENELITIAN</b> .....   | 47 |
| A. Waktu dan Tempat Penelitian .....  | 47 |
| B. Alat dan Bahan .....   | 43 |
| C. Prosedur Penelitian .....  | 48 |
| 1. Asap Cair .....  | 48 |
| 2. Preparasi Inhibitor.....   | 48 |
| 3. Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal<br>CaCO <sub>3</sub> .....  | 49 |
| a. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO <sub>3</sub> Tanpa Penambahan<br>Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang<br>Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....               | 49 |
| b. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO <sub>3</sub> dengan Penambahan<br>Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang<br>Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> .....              | 50 |
| 4. Analisis Data.....   | 51 |
| D. Diagram Alir Penelitian.....   | 51 |
| <b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....   | 53 |
| A. Analisis Gugus Fungsi Asap Cair Sabut Kelapa Menggunakan<br><i>Fourier Transform-Infra Red</i> (FTIR).....   | 53 |
| B. Analisis Komponen Senyawa Kimia Asap Cair Sabut Kelapa<br>Menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i><br>(GC-MS).....  | 56 |
| C. Laju Pertumbuhan CaCO <sub>3</sub> Tanpa Inhibitor pada Konsentrasi<br>Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode<br><i>Unseeded Experiment</i> .....                                    | 59 |
| D. Laju Pertumbuhan CaCO <sub>3</sub> dengan Penambahan Inhibitor Asap Cair<br>Sabut Kelapa pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda<br>dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i> ..... | 62 |
| 1. Laju Pertumbuhan Kristal CaCO <sub>3</sub> dengan Variasi Konsentrasi<br>Inhibitor Asap Cair Sabut Kelapa pada Larutan Pertumbuhan<br>0,025 M.....   | 64 |
| 2. Laju Pertumbuhan Kristal CaCO <sub>3</sub> dengan Variasi Konsentrasi<br>Inhibitor Asap Cair Sabut Kelapa pada Larutan Pertumbuhan<br>0,038 M.....   | 67 |

|   |     |
|---|-----|
| 3. Laju Pertumbuhan Kristal CaCO <sub>3</sub> dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Asap Cair Sabut Kelapa pada Larutan Pertumbuhan 0,050 M..... | 70  |
| 4. Laju Pertumbuhan Kristal CaCO <sub>3</sub> dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor Asap Cair Sabut Kelapa pada Larutan Pertumbuhan 0,063 M..... | 72  |
| E. Perbandingan Larutan Pertumbuhan CaCO <sub>3</sub> yang Efektif .....  | 76  |
| F. Analisis Permukaan Kerak CaCO <sub>3</sub> Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....                                       | 79  |
| G. Analisis Distribusi Ukuran Partikel Kristal CaCO <sub>3</sub> Menggunakan <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA).....                           | 81  |
| H. Identifikasi Struktur Kristal CaCO <sub>3</sub> Menggunakan XRD .....  | 83  |
| I. Mekanisme Kerja Inhibitor Asap Cair Sabut Kelapa .....   | 88  |
| 1. Inhibisi <i>Threshold</i> .....  | 88  |
| 2. Pembentukan Kompleks Khelat .....  | 89  |
| 3. Distorsi Kristal.....  | 90  |
| 4. Dispersi Kristal .....   | 90  |
| <b>V. SIMPULAN DAN SARAN</b> .....  | 92  |
| A. Simpulan.....  | 92  |
| B. Saran .....  | 93  |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....   | 94  |
| <b>LAMPIRAN</b> .....   | 103 |

## DAFTAR TABEL

| Tabel   | Halaman |
|---|---------|
| 1. Komposisi kimia asap cair .....  | 30      |
| 2. Komponen kondensat sabut kelapa suhu 300 °C hasil deteksi GC-MS .....  | 32      |
| 3. Gugus fungsi pada asap cair sabut kelapa.....  | 35      |
| 4. Gugus fungsi pada spektrum IR asap cair sabut kelapa.....  | 55      |
| 5. Komponen-komponen kimia asap cair sabut kelapa.....  | 58      |
| 6. Nilai pH asap cair yang telah diencerkan dengan akuades pada variasi konsentrasi dan setelah ditambahkan larutan $\text{CaCO}_3$ ..... | 62      |
| 7. Nilai pH larutan pertumbuhan sebelum dan sesudah penambahan asap cair.....   | 63      |
| 8. Data persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,025 M .....   | 67      |
| 9. Data persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,038 M .....   | 69      |
| 10. Data persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,050 M .....  | 72      |
| 11. Data persentase efektivitas inhibitor pada larutan pertumbuhan 0,063 M .....  | 74      |
| 12. Data persentase efektivitas inhibitor pada penambahan inhibitor 35% .....   | 75      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar   | Halaman |
|--|---------|
| 1. Endapan kerak kalsium karbonat dalam pipa .....   | 9       |
| 2. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan.....  | 12      |
| 3. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air .....  | 14      |
| 4. Tahapan rekristalisasi.....   | 17      |
| 5. Mekanisme pencegahan kerak dengan penghambatan ambang batas, dispersi, dan modifikasi kristal .....   | 27      |
| 6. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan ( $\circ$ = inhibitor, $\diamond$ = bibit kristal ..... | 28      |
| 7. Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer ramah lingkungan.....   | 29      |
| 8. Instrumentasi GC-MS .....   | 36      |
| 9. Skema bagan SEM.....  | 38      |
| 10. Morfologi kerak $\text{CaCO}_3$ fasa kalsit, aragonit, dan vaterit .....   | 40      |
| 11. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf .....   | 41      |
| 12. Skema kerja alat XRD .....   | 43      |
| 13. Pola XRD kerak $\text{CaCO}_3$ (a) tanpa aditif asam tartrat, (b) aditif 4 ppm, (c) aditif 6 ppm dan (d) aditif 10 ppm .....                   | 44      |
| 14. Pola XRD dan $2\theta$ standar kristal $\text{CaCO}_3$ fase kalsit .....   | 45      |
| 15. Pola XRD dan $2\theta$ standar kristal $\text{CaCO}_3$ fase aragonit.....  | 45      |
| 16. Pola XRD dan $2\theta$ standar kristal $\text{CaCO}_3$ fase vaterit.....   | 46      |

|   |    |
|---|----|
| 17. Diagram alir penelitian.....  | 52 |
| 18. Spektrum IR asap cair sabut kelapa .....  | 54 |
| 19. Hasil analisis Gas <i>Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) asap<br>cair sabut kelapa.....   | 56 |
| 20. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kristal CaCO <sub>3</sub> dengan variasi<br>konsentrasi larutan pertumbuhan tanpa penambahan inhibitor .....   | 61 |
| 21. Grafik laju pertumbuhan kristal CaCO <sub>3</sub> dengan variasi inhibitor asap cair<br>sabut kelapa pada larutan pertumbuhan konsentrasi 0,025 M .....   | 64 |
| 22. Grafik laju pertumbuhan kristal CaCO <sub>3</sub> dengan variasi inhibitor asap cair<br>sabut kelapa pada larutan pertumbuhan konsentrasi 0,038 M .....   | 68 |
| 23. Grafik laju pertumbuhan kristal CaCO <sub>3</sub> dengan variasi inhibitor asap cair<br>sabut kelapa pada larutan pertumbuhan konsentrasi 0,050 M .....   | 70 |
| 24. Grafik laju pertumbuhan kristal CaCO <sub>3</sub> dengan variasi inhibitor asap cair<br>sabut kelapa pada larutan pertumbuhan konsentrasi 0,063 M .....   | 72 |
| 25. Larutan pertumbuhan kerak CaCO <sub>3</sub> 0,025 M tanpa penambahan inhibitor (A)<br>dan dengan inhibitor 5% (B).....  | 77 |
| 26. Perbandingan kerak CaCO <sub>3</sub> tanpa (A) dan dengan inhibitor (B).....  | 78 |
| 27. Morfologi kerak CaCO <sub>3</sub> pada konsentrasi 0,025 M dengan perbesaran<br>2000x dan 5000x tanpa penambahan inhibitor (A,C) dan dengan<br>penambahan inhibitor asap cair sabut kelapa sebesar 5% (B,D) ..... | 79 |
| 28. Distribusi ukuran partikel kerak CaCO <sub>3</sub> tanpa dan dengan inhibitor.....  | 82 |
| 29. Pola XRD kerak CaCO <sub>3</sub> 0,025 M tanpa inhibitor (A) dan dengan<br>penambahan inhibitor (B) asap cair sabut kelapa sebesar 5% .....   | 84 |
| 30. Pola XRD kristal CaCO <sub>3</sub> fase kalsit (A), aragonit (B), dan<br>vaterit (C) .....  | 85 |

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang dan Masalah

Salah satu bidang yang mengalami perkembangan sangat pesat baik di dunia maupun di Indonesia adalah bidang industri, seperti industri kimia, gas, dan perminyakan. Sebagian besar industri yang ada menggunakan pipa sebagai saluran perpindahan zat dari satu tempat ke tempat lain (proses aliran fluida). Masalah yang paling sering ditemukan pada pipa atau peralatan industri berupa pembentukan kerak (*scaling*). Proses terbentuknya kerak ini umumnya terjadi pada berbagai macam peralatan industri yang melibatkan proses destilasi dan menggunakan ketel (Badr *and* Yassin, 2007; Lestari dkk., 2004; Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2010; Suharso dan Buhani, 2011). Selain itu, pembentukan kerak juga dapat terjadi pada alat-alat kondensor, pendingin, dan penukar panas (Ahmadi *and* Steinhagen, 2007).

Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut berupa kualitas air, temperatur air, laju alir air, dan derajat lewat jenuh (Lestari, 2008). Adanya pembentukan kerak ini menimbulkan banyak kerugian, antara lain menyebabkan gangguan transfer panas, korosi pada pipa aliran fluida, dan lain-lain (Suharso dan Buhani, 2015). Salah satu dampak negatif dari kerak



yang terbentuk pada pipa industri perminyakan menyebabkan perusahaan minyak Indonesia (Pertamina, Tbk) menghabiskan dana 6-7 juta dolar untuk mengganti setiap pipa pada bagian geotermal setiap 10 tahun sekali dalam mengatasi masalah kerak yang terjadi (Suharso *et al.*, 2010; Suharso *et al.*, 2014; Suharso *et al.*, 2017; Suharso *et al.*, 2017a).

Kerak merupakan tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air (Basim *et al.*, 2012). Adapun komponen-komponen kerak yang sering dijumpai pada peralatan industri berupa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), kalsium fosfat ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), seng fosfat ( $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ ), kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ), dan magnesium silikat ( $\text{MgSiO}_3$ ) (Lestari, 2008).

Kerak  $\text{CaCO}_3$  merupakan kerak yang paling umum terjadi pada dinding-dinding pipa industri yang melibatkan aliran fluida (Zhang *et al.*, 2002).

Kelarutan  $\text{CaCO}_3$  yang sedikit dapat terbentuk jika dalam larutan lewat jenuh terjadi kesetimbangan kimia pada tekanan dan temperatur yang sama.

Kesetimbangan  $\text{CaCO}_3$  dapat diganggu dengan adanya pengurangan gas  $\text{CO}_2$  dari aliran selama proses produksi berlangsung. Hal ini akan mengakibatkan suatu pengendapan sehingga terbentuk kerak  $\text{CaCO}_3$  (Nunn, 1997).

Pembentukan kerak dapat dikontrol dengan menggunakan berbagai macam metode. Sejumlah metode kontrol endapan kerak yang telah diteliti, yaitu dengan metode penggunaan inhibitor (Suharso dkk., 2007), pembebasan mineral air (Lestari, 2008), dan pengendalian pH (Suharso dan Buhani, 2012). Penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar jarang dilakukan

karena membutuhkan biaya yang cukup tinggi (Nunn, 1997). Metode pengendalian pH dilakukan dengan menginjeksikan asam (asam sulfat atau asam klorida). Proses penghilangan kerak menggunakan asam dengan konsentrasi yang tinggi juga tidak efektif karena dapat meningkatkan laju korosi dan konduktivitas, serta mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya (Lestari, 2008). Solusi yang dianggap efektif dengan biaya ringan yaitu dengan penggunaan inhibitor (Suharso dkk., 2007). Apabila dibandingkan dengan metode lainnya, metode inhibitor merupakan metode yang menarik untuk dikembangkan lebih lanjut karena biayanya relatif lebih murah dan memiliki efektivitas yang lebih tinggi (Asnawati, 2001) serta dapat mencegah kerak dalam periode yang lama (Cowan *and* Weintritt, 1976).

Inhibitor kerak adalah suatu bahan kimia dengan konsentrasi kecil yang ditambahkan dalam suatu sistem air sehingga dapat menghentikan atau mencegah terbentuknya kerak. Penggunaan inhibitor ini sangat menarik, karena dengan konsentrasi di bawah 100 ppm sudah dapat mencukupi untuk mencegah kerak dalam periode yang cukup lama (Halimatuddahlia, 2003). Penggunaan aditif yang efektif sebagai inhibitor mengakibatkan terjadinya perubahan konduktivitas menjadi lebih besar dan ukuran kristal menjadi lebih kecil dibandingkan tanpa menggunakan aditif, konsentrasi aditif menentukan tingkat keefektifannya sebagai inhibitor. Semakin tinggi konsentrasi inhibitor yang ditambahkan, semakin besar kemampuan inhibitor dalam menghambat laju pembentukan kerak (Suharso *et al.*, 2009).

Inhibitor kerak dapat diperoleh secara alami dari tanaman yang ramah lingkungan. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam penambahan inhibitor untuk mencegah pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$ . Contohnya menggunakan ekstrak gambir yang dikombinasikan dengan kemenyan putih dan aditif golongan karboksilat 350 ppm dengan persentase efektivitas tertinggi yaitu 64,34% (Aisah, 2016) dan penambahan asap cair tempurung kelapa *grade 2* 350 ppm sebagai inhibitor dalam mencegah pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$  dengan persentase efektivitas tertinggi yaitu 99,48% (Kurniawan, 2018).

Tanaman gambir (*Uncaria gambier Roxb*) dapat digunakan sebagai inhibitor kerak  $\text{CaCO}_3$  karena mengandung 70% senyawa tanin (Bakhtiar, 1991).

Tanin memiliki sifat dapat larut dalam air atau alkohol karena tanin banyak mengandung fenol yang memiliki gugus OH, yang dapat mengikat logam berat seperti  $\text{Ca}^{2+}$  (Sri dan Sembiring, 2012). Sementara asap cair tempurung kelapa *grade 2* banyak mengandung senyawa fenolik, asam seperti asam asetat, asam butirat, dan asam propionat, serta mengandung karbonil (Darmadji, 1996).

Kandungan senyawa fenol, asam asetat, dan karbonil juga terdapat dalam asap cair sabut kelapa. Persentase masing-masingnya yaitu 3,03; 9,22; dan 10,26% (Mappiratu, 2009) dengan pH sebesar 2,62 (Anggraini, 2015).

Meninjau dari kandungan senyawa yang terdapat dalam asap cair sabut kelapa, maka asap cair sabut kelapa dapat dikembangkan menjadi inhibitor pada laju pembentukan kerak  $\text{CaCO}_3$  pada konsentrasi larutan pertumbuhan dan konsentrasi inhibitor yang berbeda .

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *unseeded experiment*. Metode ini berfungsi untuk mengetahui keefektifan suatu inhibitor secara kuantitatif yang dapat diketahui dari analisis data dan hasil perhitungan. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan asap cair sabut kelapa *grade 3* sebagai inhibitor pembentukan kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dengan metode *unseeded experiment* sehingga diketahui persentase efektivitasnya. Analisis gugus fungsi dan komponen senyawa kimia asap cair dilakukan dengan *Fourier Transform-InfraRed* (FTIR) dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). Sementara analisis morfologi  $\text{CaCO}_3$  menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), analisis struktur kerak  $\text{CaCO}_3$  menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), dan distribusi ukuran partikelnya diukur menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

## **B. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh penambahan asap cair sabut kelapa sebagai inhibitor kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) pada konsentrasi yang berbeda.
2. Mengetahui efektivitas asap cair sabut kelapa sebagai inhibitor kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) melalui analisis data dan karakterisasi kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) menggunakan SEM, PSA, dan XRD serta analisis asap cair sabut kelapa menggunakan FTIR dan GC-MS.

### **C. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi tentang efektivitas dan pengaruh penambahan asap cair sabut kelapa sebagai inhibitor pembentukan kerak  $\text{CaCO}_3$ .
2. Membantu penghematan biaya penggantian pipa industri-industri dalam penanganan kerak apabila penelitian ini ditindaklanjuti nantinya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pengendapan Senyawa Anorganik

Proses pengendapan senyawa-senyawa anorganik sering terjadi pada instrumen yang digunakan di industri. Hal ini dirasa menjadi permasalahan bagi industri yang proses kerjanya melibatkan air garam seperti proses desalinasi, ketel, industri minyak, dan gas. Hal ini disebabkan karena adanya unsur-unsur anorganik pembentuk kerak seperti logam kalsium dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Terakumulasinya endapan-endapan dari senyawa anorganik dapat menimbulkan masalah seperti kerak (Weijnen *et al.*, 1983 ; Maley, 1999). Endapan yang umum ditemui di pipa minyak seperti kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), kalsium sulfat termasuk gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan kalsium sulfat anhidrat ( $\text{CaSO}_4$ ), serta barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) (Asnawati, 2001).

Air digunakan secara luas sebagai cairan pendingin untuk menghilangkan panas yang tidak diinginkan dari permukaan perpindahan panas seperti pada alat penukar panas, kondensor, evaporator, *cooling tower*, dan *pipe walls*. Pendinginan uap yang terjadi pada alat-alat tersebut memungkinkan sistem air menjadi lewat jenuh, dengan adanya mineral terlarut yang dipengaruhi oleh karbonat, sulfat, fosfat, logam silikat/silika, dan besi yang menghasilkan

depot dan pembentukan kerak. Pada supersaturasi, pembentukan kerak dapat terjadi karena fluktuasi suhu yang mendadak pada permukaan perpindahan panas ketika air menyentuh permukaan tersebut (Kragh *et al.*, 1981).

## **B. Kerak**

Kerak merupakan tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air (Basim *et al.*, 2012). Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh. Pada keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut kembali jika ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis sementara itu kristal-kristal akan berkembang bila ukurannya lebih besar dari partikel kritis. Apabila ukuran inti kristal menjadi lebih besar dari inti kritis, maka akan mulailah pertumbuhan kristal, dari kristal kecil membentuk kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak). Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008; Hasson *and* Semiat, 2005). Kerak juga dapat terbentuk karena campuran air yang digunakan tidak sesuai. Campuran air tersebut tidak sesuai jika air berinteraksi secara kimia dan mineralnya mengendap jika dicampurkan (Badr *and* Yassin, 2007).

Komponen khas kerak yang sering dijumpai adalah kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ : turunan dari kalsium bikarbonat), kalsium dan seng fosfat, kalsium fosfat, (sejumlah besar kalsium dan ortofosfat), silika dengan konsentrasi tinggi, besi dioksida (senyawa yang disebabkan oleh

kurangnya kontrol korosi atau alami berasal dari besi yang teroksidasi), besi fosfat (senyawa yang disebabkan karena pembentukan lapisan film dari inhibitor fosfat), mangan dioksida (mangan teroksidasi tingkat tinggi), 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; Nunn, 1997). Contoh endapan kerak kalsium karbonat yang terdapat pada pipa ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Endapan kerak kalsium karbonat dalam pipa (Wang *et al.*, 2015).

### C. Pembentukan Endapan dan Kerak

Pembentukan kerak dan deposit endapan lain adalah proses kristalisasi yang kompleks. Kecepatan pembentukan lapisan awal kerak dan kecepatan pertumbuhan yang berikutnya ditentukan melalui interaksi dari beberapa kecepatan proses: nukleasi, difusi, reaksi kimia, dan kesesuaian pola geometris molekul-molekul dan atom-atom kristal kerak, dan lain-lain. Sebagian besar unsur pokok pembentukan kerak mineral, kelarutannya cenderung turun terhadap kenaikan suhu. Oleh karena itu, bila larutan lewat jenuh bersinggungan dengan permukaan transfer panas, mineral tersebut mengendap menjadi padatan karena daya larut setimbangannya menurun. Pada saat larutan menjadi lewat jenuh dan nukleasi terjadi, kondisi ini sangat cocok



dan ideal untuk pertumbuhan kristal partikel kerak. Senyawa-senyawa yang dibawa air seperti kalsium karbonat dapat mengendap dan membentuk kerak sebagai akibat dari beda tekanan, perubahan temperatur, perubahan pH, dan lain-lain. Perubahan tersebut terjadi dalam peralatan proses, penukar panas, evaporator, *boiler*, dan *cooling tower* (Salimin dan Gunandjar, 2007).

Proses pengendapan terjadi melalui tiga tahap, yaitu :

### **1. Nukleasi**

Sebuah inti endapan adalah suatu partikel halus, pembentukan atau pengendapan dapat terjadi secara spontan. Inti dapat dibentuk dari beberapa molekul atau ion komponen endapan yang tumbuh secara bersama-sama dan jaraknya berdekatan, dapat juga dikatakan partikel halus secara kimia tidak berhubungan dengan endapan tetapi ada kemiripan dengan struktur kisi kristal. Jika inti dibentuk dari ion atau komponen endapan, fasa awal endapan disebut nukleasi homogen.

### **2. Pertumbuhan Kristal**

Kristal terbentuk dari lapisan ion komponen endapan pada permukaan inti karena pada pengolahan air yang melibatkan proses pengendapan sering tidak mencapai kesetimbangan.

### **3. Aglomerasi**

Padatan yang awalnya terbentuk dengan pengendapan, kemungkinan bukan padatan yang paling stabil (secara termodinamika) untuk berbagai

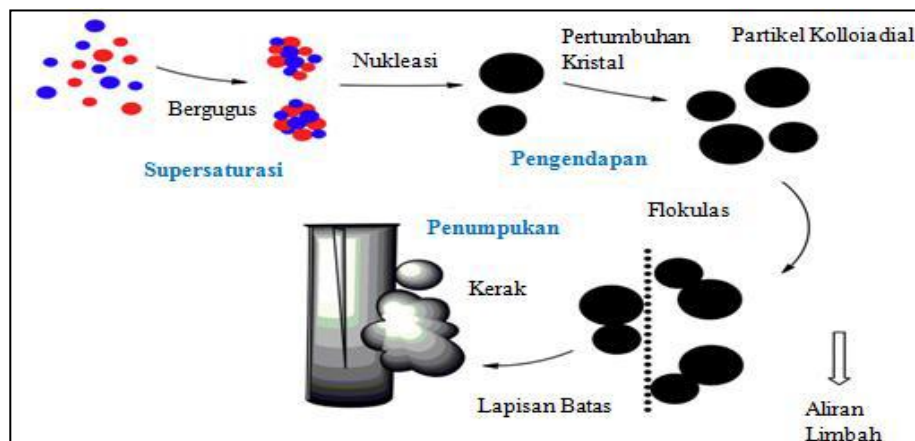
kondisi reaksi. Jika demikian selama jangka waktu tertentu struktur kristal endapan dapat berubah menjadi fasa stabil. Perubahan ini disertai penambahan endapan dan pengurangan konsentrasi larutan, sebab fasa yang stabil biasanya mempunyai kelarutan yang lebih kecil dari fasa yang dibentuk sebelumnya.

Pematangan juga terjadi pada ukuran kristal endapan yang bertambah sebab partikel yang lebih kecil memiliki energi permukaan yang besar dari pada partikel yang besar, konsentrasi larutan dalam kesetimbangan untuk partikel yang lebih tinggi sebanding untuk partikel yang lebih besar. Akibatnya, pada ukuran partikel yang beragam partikel yang lebih besar terus bertambah, sebab larutan masih dalam keadaan lewat jenuh. Partikel yang lebih kecil melarut, sebab konsentrasi larutan sekarang belum diketahui harga jenuhnya (Lestari dkk., 2004). Pada prinsipnya, pembentukan kerak terjadi dalam suatu aliran yang bersifat garam jika mengalami penurunan tekanan secara tiba-tiba, maka aliran tersebut akan menjadi lewat jenuh dan menyebabkan terjadinya endapan garam yang menumpuk pada dinding-dinding peralatan proses industri. Penumpukan endapan garam ini umumnya terdiri dari kalsium sulfat, fosfat, dan karbonat (Amjad, 1987).

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

1. Ion dalam larutan konsentrat melalui supersaturasi. Ion-ion mulai bergugus/berkelompok dalam reaksi yang bersifat *reversible* sebagai proto-inti yang mencapai hingga 1000 atom.

2. Ketika protonuklei tumbuh, ion mulai menyusun dirinya sendiri dan inti yang berbentuk reguler berkembang. Tahap ini juga bersifat *reversible* sampai dengan  $3 \text{ \AA}$ , tetapi ketika inti tumbuh, sifat *reversible* ini menjadi kurang memungkinkan.
3. Tahap akhir adalah pertumbuhan permanen menjadi kristal mulai dari inti hingga berukuran  $0,3 \text{ mm}$  (ukuran kritis yang didorong oleh supersaturasi), yang juga dapat bertumpuk pada permukaan perpindahan panas dan disebut nukleasi heterogen ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan (Addicott *et al.*, 1987).

#### D. Faktor Pembentuk Kerak

Menurut Lestari (2008) faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya kerak antara lain yaitu :

##### 1. Kualitas Air

Pembentukan kerak dipengaruhi oleh konsentrasi komponen-komponen pembentuk kerak (kesadahan kalsium, konsentrasi fosfat), pH, konsentrasi

bahan penghambat kerak dalam air, adanya zat aditif, dan pengotor.

## 2. Temperatur Air

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

## 3. Laju Alir Air

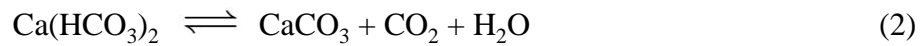
Laju pembentukan kerak akan meningkat dengan turunnya laju alir sistem. Dalam kondisi tanpa pemakaian penghambat kerak, pada sistem dengan laju alir 0,6 m/detik maka laju pembentukan kerak hanya seperlima dibanding pada laju alir air 0,2 m/detik.

Menurut Merdhah *and* Yassin (2007) prinsip pembentukan kerak, yaitu:

1. Campuran dua air garam yang tidak sesuai (umumnya air formasi mengandung banyak kation seperti ion kalsium, barium, dan stronsium, bercampur dengan ion sulfat yang banyak terdapat dalam air laut, menghasilkan kerak sulfat seperti CaSO<sub>4</sub>, SrSO<sub>4</sub> atau BaSO<sub>4</sub>).



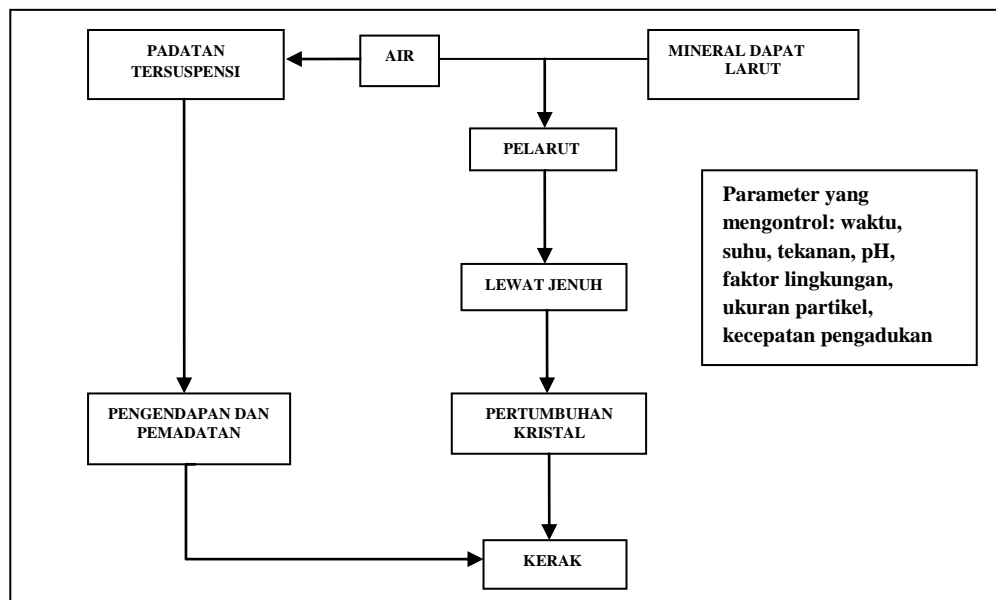
2. Penurunan tekanan dan kenaikan temperatur air garam, yang akan menurunkan kelarutan garam (umumnya mineral yang paling banyak mengendap adalah kerak karbonat seperti CaCO<sub>3</sub>).



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

Pembentukan kerak dan deposit endapan lain adalah proses kristalisasi yang kompleks. Pada saat larutan menjadi lewat jenuh dan nukleasi terjadi, kondisi ini sangat cocok dan ideal untuk pertumbuhan kristal partikel kerak.

Senyawa-senyawa yang dibawa air seperti kalsium sulfat, magnesium sulfat, barium sulfat, magnesium karbonat, kalsium karbonat, silikat, dan lain-lain dapat mengendap dan membentuk kerak sebagai akibat dari beda tekanan, perubahan temperatur, perubahan pH, dan lain-lain. Skema mekanisme pembentukan kerak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air (Salimin dan Gunandjar, 2007).

## E. Kristal

Kristal terbentuk dari komposisi atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul zat padat yang memiliki susunan berulang dan jarak yang teratur dalam tiga dimensi. Pada hubungan lokal yang teratur, suatu kristal harus memiliki rentang yang panjang pada koordinasi atom-atom atau ion dalam pola tiga dimensi sehingga menghasilkan rentang yang panjang sebagai karakteristik dari bentuk kristal tersebut. Berdasarkan struktur atom penyusunnya, bahan padat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal (*polycrystal*), dan amorf (Smallman dan Bishop, 2000).

## F. Faktor Pembentukan Kristal

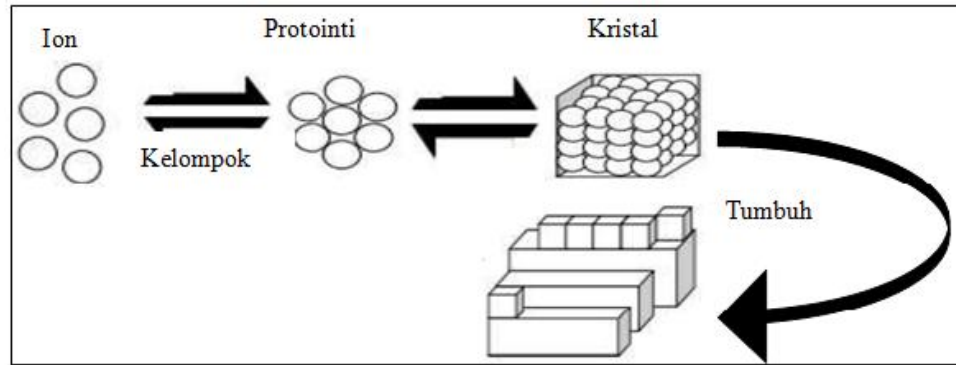
Ukuran kristal yang terbentuk selama pengendapan, tergantung terutama pada dua faktor penting, yaitu laju pembentukan inti (nukleasi) dan laju pertumbuhan kristal. Laju pembentukan inti dapat dinyatakan dengan jumlah inti yang terbentuk dalam satuan waktu. Jika laju pembentukan inti tinggi, banyak sekali kristal yang akan terbentuk yang terdiri dari partikel-partikel kecil. Laju pembentukan inti tergantung pada derajat lewat jenuh dari larutan. Semakin tinggi derajat lewat jenuh maka semakin besar kemungkinan untuk membentuk inti baru sehingga akan semakin besar laju pembentukan inti. Laju pertumbuhan kristal merupakan faktor penting lainnya yang akan mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk selama pengendapan berlangsung. Semakin tinggi laju pertumbuhan maka kristal yang terbentuk akan semakin besar. Laju pertumbuhan kristal juga tergantung pada derajat lewat jenuh (Svehla, 1990).

## 1. Kristalisasi

Menurut Brown (1978) kristalisasi adalah suatu proses pembentukan kristal dari larutannya, dimana kristal yang dihasilkan dapat dipisahkan secara mekanik. Pertumbuhan kristal dapat terjadi bila konsentrasi suatu zat terlarut berada pada kadar larutan lewat jenuh pada suhu tertentu.

Kristalisasi memiliki dua tahap proses, yaitu tahap pembentukan inti yang merupakan tahap mulai terbentuknya zat padat baru, dan tahap pertumbuhan kristal yang merupakan tahap inti zat padat yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan menjadi kristal yang lebih besar.

Laju pertumbuhan kristal ditentukan oleh laju difusi zat terlarut pada permukaan kristal dan laju pengendapan zat terlarut pada kristal tersebut. Daya dorong difusi zat-zat terlarut adalah perbedaan antara konsentrasi zat-zat terlarut pada permukaan kristal dan pada larutan. Kristal-kristal yang telah terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008; Hasson *and* Semiat, 2005). Contoh kasus laju pertumbuhan kristal yang mudah diamati terjadi pada pertumbuhan kristal borak (Brown, 1978; Suharso, 2012; Suharso, 2012a). Penjelasan sederhana pembentukan kerak (kristalisasi) ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan kristalisasi (Zeiher *et al.*, 2003).

## 2. Kelarutan Endapan

Endapan mungkin berupa kristal atau koloid, dan dapat dikeluarkan dari larutan dengan penyaringan. Endapan terbentuk jika larutan menjadi terlalu jenuh dengan zat bersangkutan. Kelarutan ( $S$ ) suatu endapan adalah sama dengan konsentrasi molar dari larutan jenuhnya. Kelarutan tergantung berbagai kondisi, seperti temperatur, tekanan, konsentrasi, bahan-bahan lain dalam larutan itu, dan pada komposisi pelarutnya. Hasil kali kelarutan memungkinkan untuk menerangkan dan juga memperkirakan reaksi-reaksi pengendapan. Hasil kali kelarutan dalam keadaan sebenarnya merupakan nilai akhir yang dicapai oleh hasil kali ion ketika kesetimbangan tercapai antara fase padat dari garam yang hanya sedikit larut dalam larutan. Jika hasil kali ion berbeda dengan hasil kali kelarutan, maka sistem itu akan berusaha menyesuaikan, sehingga hasil kali ion mencapai nilai hasil kali kelarutan. Jadi, jika hasil kali ion dengan sengaja dibuat lebih besar dari hasil kali kelarutan, penyesuaian oleh sistem mengakibatkan mengendapnya garam larutan. Sebaliknya, jika hasil kali ion dibuat lebih kecil dari hasil kali kelarutan, kesetimbangan



dalam sistem dicapai kembali dengan melarutnya sebagian garam padat ke dalam larutan. Hasil kali kelarutan menentukan keadaan kesetimbangan. Kelebihan zat pengendap yang terlalu banyak dapat mengakibatkan sebagian endapan melarut kembali, sebagai akibat bertambahnya efek garam atau akibat pembentukan ion kompleks (Svehla, 1990).

### **3. Derajat Lewat-Jenuh (Supersaturasi)**

Larutan lewat jenuh adalah larutan yang mengandung zat terlarut lebih besar daripada yang dibutuhkan pada sistem kesetimbangan larutan jenuh. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh dengan jalan pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya. Kondisi kelarutan dibagi dalam tiga bagian yaitu daerah stabil, metastabil, dan daerah labil. Daerah stabil adalah daerah larutan yang tidak mengalami kristalisasi. Daerah yang memungkinkan terjadinya kristalisasi tidak spontan adalah daerah metastabil, sedangkan daerah labil memungkinkan terjadinya kristalisasi secara spontan (Wafiroh, 1995).

#### **G. Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )**

Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) merupakan padatan putih yang hanya sedikit larut dalam air. Kalsium karbonat terurai bila dipanaskan menghasilkan kalsium dan karbondioksida. Senyawa ini dijumpai di alam sebagai mineral kalsit dan aragonit. Kalsit merupakan bentuk  $\text{CaCO}_3$  yang lebih lazim, dapat dibedakan dengan aragonit berdasarkan kekerasan dan bobot jenisnya.

Aragonit terbentuk pada tekanan yang lebih tinggi dan tidak stabil, aragonit akan mengalami rekristalisasi menjadi kalsit (Daintith, 1994).

Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dibuat dari reaksi  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dalam air, atau melewatkan  $\text{CO}_2$  melalui suspensi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dalam air yang murni. Proses pembentukan  $\text{CaCO}_3$  dengan model larutan ini berjalan cepat karena harga supersaturasi yang jauh lebih tinggi dibanding model larutan  $\text{CaCO}_3$ . Campuran larutan yang dihasilkan bersifat basa (pH: 10-11) dan akan menurun mendekati pH isoelektrik kalsit yaitu sekitar 8,4 seiring dengan meningkatnya jumlah  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk. Di dalam sistem larutan karbonat terdapat kesetimbangan antara  $\text{CO}_2$ , ion  $\text{CO}_3^{2-}$  (karbonat), dan  $\text{HCO}_3^-$  (bikarbonat) (Higashitani *et al.*, 1993).

$\text{CaCO}_3$  juga dihasilkan dengan metode *Richard and Honischmidt* dengan cara larutan  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  diasamkan sedikit dengan  $\text{HNO}_3$ . Lantas diperlakukan dengan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  cair murni yang sedikit berlebih untuk mengendapkan sebagian besar  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Impuritas berupa garam-garam Ba, Sr, dan Mg dapat dihilangkan dengan cara merekristalisasi nitratnya berulang kali. Amonium karbonat yang dibutuhkan untuk mengendapkan karbonatnya bisa dimurnikan lewat destilasi dari air (Arsyad, 2001). Kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) berupa endapan amorf putih terbentuk dari reaksi antara ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dalam bentuk  $\text{CaCl}_2$  dengan ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dalam bentuk  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Svehla, 1990).



Karbonat dari kalsium tidak larut dalam air dan hasil kali kelarutannya

menurun dengan naiknya ukuran  $\text{Ca}^{2+}$  (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Menurut Zhang *et al.* (2002) kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) merupakan kerak yang paling umum terjadi pada dinding-dinding pipa industri yang melibatkan aliran fluida. Kelarutan  $\text{CaCO}_3$  yang sedikit dapat terbentuk jika larutan lewat jenuh dalam tempat pengolahannya, terjadi kesetimbangan kimia dengan lingkungannya pada tekanan dan temperatur yang sebenarnya. Kesetimbangan  $\text{CaCO}_3$  dapat diganggu dengan pengurangan gas  $\text{CO}_2$  dari aliran selama proses produksi berlangsung. Hal ini akan mengakibatkan pengendapan sehingga terbentuk kerak. Reaksinya yaitu:



#### H. Pengaruh Terbentuknya Kerak ( $\text{CaCO}_3$ )

Adanya pembentukan kerak menimbulkan banyak kerugian, antara lain menyebabkan gangguan transfer panas dan korosi pada pipa aliran fluida, (Suharso dan Buhani, 2015). Kerak  $\text{CaCO}_3$  yang sering dijumpai pada pipa peralatan industri dapat menimbulkan berbagai masalah seperti mengecilnya diameter pipa sehingga menghambat aliran fluida. Hal ini menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan pecah (Asnawati, 2001). Pada operasi produksi minyak bumi, pembentukan kerak dapat mengurangi produktivitas sumur akibat tersumbatnya penorasi, pompa, *valve*, dan *fitting* (Halimatuddahlia, 2003). Oleh karena itu, perlu dilakukan metode pencegahan pembentukan kerak.

## **I. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak $\text{CaCO}_3$**

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

### **1. Pengendalian pH**

Pengendalian pH dengan cara penginjeksian asam (asam sulfat atau asam klorida) telah lama diterapkan untuk mencegah pengendapan oleh garam-garam kalsium, garam logam bivalen, dan garam fosfat. Kelarutan bahan pembentukan kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Pada pH 6,5 atau kurang, korosi pada baja karbon, tembaga dan paduan tembaga dengan cepat akan berlangsung dan pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak hanyalah pada pH 7,0 sampai 7,5. Oleh karena itu, suatu sistem otomatis penginjeksian asam diperlukan untuk mengendalikan pH secara tepat. Asam sulfat dan asam klorida mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya. Pencegahan terjadinya kerak pada air yang mengandung kesadahan tinggi (kira-kira 250 ppm  $\text{CaCO}_3$ ) perlu adanya pelunakan menggunakan kapur dan soda abu (pengolahan kapur dingin) (Baraka *and* Sorbie, 2010; Lestari dkk., 2004).

### **2. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air**

Pencegahan terjadinya kerak pada air yang mengandung kesadahan tinggi ( $\pm 250$  ppm  $\text{CaCO}_3$ ) perlu adanya pelunakan dengan menggunakan kapur dan soda abu (pengolahan kapur dingin). Masalah kerak tidak akan dijumpai jika digunakan air bebas mineral karena seluruh garam-garam

terlarut dapat dihilangkan. Oleh karena itu, pemakaian air bebas mineral merupakan metode yang tepat untuk menghambat kerak di dalam suatu sistem dengan pembebanan panas tinggi di mana pengolahan konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil (Lestari dkk., 2004). Namun, penggunaan air bebas mineral dalam industri besar membutuhkan biaya yang cukup tinggi sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja (Halimatuddahlia, 2003).

### 3. Penggunaan Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak secara umum adalah bahan kimia yang menghentikan atau mencegah terbentuknya kerak bila ditambahkan pada konsentrasi yang kecil pada air (Halimatuddahlia, 2003). Penggunaan bahan kimia ini sangat menarik, karena dengan dosis yang sangat rendah dapat mencegah kerak dalam periode yang lama (Cowan *and* Weintritt, 1976). Salah satu prinsip kerja dari *scale* inhibitor yaitu pembentukan senyawa kompleks (khelet) antara inhibitor kerak dengan unsur-unsur pembentuk kerak. Senyawa kompleks yang terbentuk larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar (Patton, 1981).

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

1. Inhibitor kerak harus menunjukkan kestabilan termal yang cukup dan efektif untuk mencegah terbentuknya air sadah dari pembentukan kerak.
2. Inhibitor kerak harus dapat merusak struktur kristal dan padatan tersuspensi lain yang mungkin akan terbentuk.

3. Inhibitor kerak juga harus memiliki tingkat keamanan yang tinggi dalam penggunaannya sehingga tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi lingkungan sekitar.

## **J. Mekanisme Kerja Inhibitor**

Peran inhibitor dalam penghambatan kerak seperti kerak  $\text{CaCO}_3$  dilakukan dengan berbagai macam mekanisme. Berikut ini adalah mekanisme pelarutan dan penghambatan kerak oleh inhibitor:

### **1. Penghambatan Ambang Batas (*Threshold Inhibition*)**

Penghambatan ambang batas didefinisikan sebagai kemampuan dari senyawa kimia pada tingkat substoikiometri untuk mempertahankan kelarutan ion mineral melebihi batas normalnya (Davis *et al.*, 1995; Stamatakis *et al.*, 2006). Pada dasarnya penghambatan dimulai dari penghambatan nukleasi untuk mencegah pengendapan lebih lanjut, yang mengganggu gugus ion untuk mencapai ukuran kritis untuk nukleasi dengan memblokir posisi pertumbuhan yang menguntungkan secara energi di permukaan. Akibatnya, inhibitor memisahkan dan melepaskan ion untuk mengulangi proses penghambatan.

Fungsi inhibitor ambang batas melalui mekanisme adsorpsi stereospesifik ke bidang kristalografi dari pertumbuhan inti (Abdel and Sawada, 2003). Adsorpsi mempengaruhi struktur kristal dan mendorong kristal secara termodinamis menuju pelarutan kembali daripada menuju pertumbuhan kristal secara spontan. Mekanisme ini umumnya berlaku untuk molekul

yang berukuran kecil. Kebanyakan inhibitor adalah senyawa yang mengandung fosfor seperti polifosfat anorganik, ester fosfat organik, dan fosfat amino organik. Selain itu, beberapa aminopolikarboksilat, fosfonopolikarboksilat, dan sulfonat juga dikenal sebagai inhibitor (Demadis *et al.*, 2009). Kehadiran gugus seperti -COOH, -OH, dan -NH<sub>2</sub> meningkatkan laju pelarutan dan efisiensinya (Demadis *et al.*, 2006).

## 2. **Khelat (*Chelates*)**

*Chelant* adalah aditif kimia penting yang mengikat spesies kationik yang dapat larut (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, dan lain-lain) dengan cara mencegahnya bereaksi dengan *counter ion* (Jones *et al.*, 2006). Hal ini dapat dicapai dengan mengubah muatan ion logam dari positif menjadi negatif dan mengunci logam ke dalam struktur cincin organik yang larut. Kompleks metal-khelat yang terbentuk larut dalam air sehingga tidak melekat pada permukaan panas. *Chelant* bertindak pada stoikiometri (satu molekul *chelant* bereaksi hanya dengan satu ion kalsium atau terkadang beberapa, tergantung pada pH) dan dosis tinggi diperlukan untuk hasil yang memuaskan (Chauhan *et al.*, 2015). Contoh *chelant* adalah garam asam amino karboksilat (EDTA; asam dietilentriaminpentaasetat; asam nitrilotriasetat) dan polifosfonat (Kolodynska, 2011; Knepper, 2003).

Inhibitor *chelating* memiliki keterbatasan dan blok pengendapan hanya untuk tingkat kejenuhan tertentu. Efisiensi dan efektivitas *chelant* sebagai inhibitor buruk, akibat persyaratan stoikiometri (Chauhan *et al.*, 2015). Agen pengompleks konvensional meskipun memiliki keuntungan yang

jelas merupakan masalah besar karena tahan lama di lingkungan, remobilisasi ion logam beracun, dan implikasinya dalam eutropikasi sistem air alami. Oleh sebab itu, diperlukan penggantian dan penggunaan agen khelating dengan biodegradabilitas tinggi (Reinecke *et al.*, 2000).

### **3. Distorsi Kristal (*Crystal Distortion*)**

Pada mekanisme distorsi kristal, bahan kimia mempengaruhi susunan dan reaksi pertumbuhan kristal sehingga menyebabkan tidak biasa, bentuk yang tidak kristalin. Distorsi kristal juga menunda pertumbuhan kristal dari kristal yang biasanya sangat teratur. Molekul inhibitor menyerap ke situs pertumbuhan kristal yang aktif, menghasilkan penghalangan, dan pencegahan pertumbuhan lebih lanjut (Davis *et al.*, 1995). Selain itu, distorsi (kelainan pada kisi kristal) menciptakan tekanan internal, menjadikan kristal rapuh dan halus. Kristal halus ini tidak dapat menahan kekuatan mekanik yang diberikan oleh air dan akibatnya dihilangkan dengan mudah dari permukaan. Polimer dengan bobot molekul rendah antara 2000-5000 menunjukkan kemampuan dalam sifat distorsi kristal. Produk yang paling umum digunakan adalah asam poliakrilat (PAA), asam polimaleat (PMA), dan poliamida.

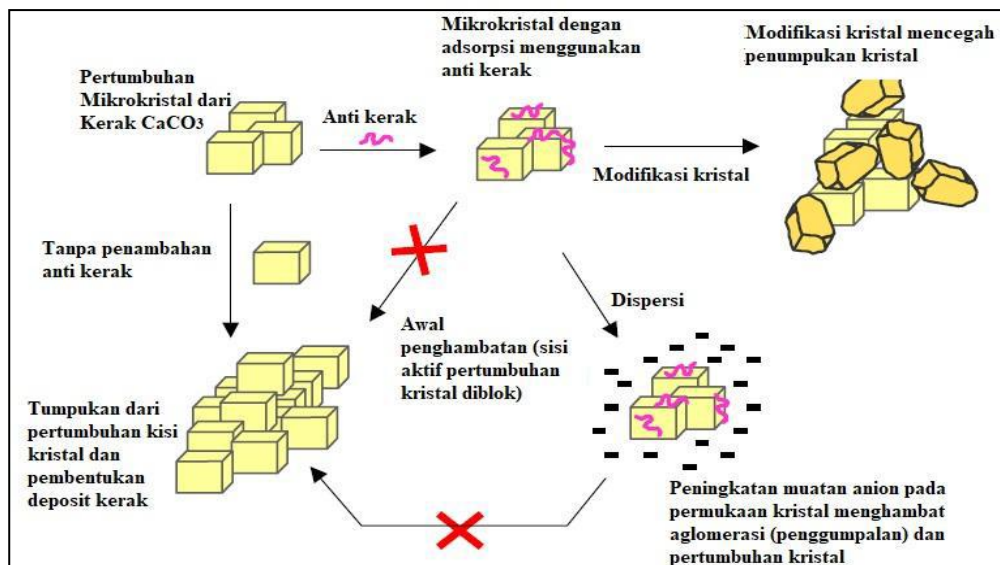
### **4. Dispersi Kristal (*Crystal Dispersion*)**

Dispersi adalah campuran stabil yang seragam dari bahan yang tidak larut dalam cairan. Ini terjadi ketika inhibitor secara kimia teradsorpsi ke permukaan kristal dan memberi tambahan muatan mengisi permukaan.



Muatan permukaan yang dihasilkan menyebabkan tolakan elektrostatik antara partikel yang bermuatan sama untuk menghindari aglomerasi, yang mengurangi pertumbuhan partikel dan akhirnya menyebabkan dispersi.

Modifikasi permukaan mikrokristal oleh pendispersi mencegah kristal baru bergabung bersama untuk membentuk kumpulan material kerak yang besar dan juga menghambat penghubungan partikel. Adsorpsi inhibitor juga memberi hidrofilitas pada kristal, yang membuat kristal tidak dapat menempel pada permukaan panas. Dispersi mempengaruhi interaksi partikel ke partikel (homogen) dan partikel ke permukaan (heterogen). Inhibitor tipe dispersi berinteraksi dengan permukaan kristal dan dengan memodifikasi permukaan menjauhkan kristal dari pembentukan kerak pada permukaan panas (Chauhan *et al.*, 2015). Kesimpulannya, mekanisme inhibitor terkait dengan penghambatan, dispersi, modifikasi kristal, dan *chelating* untuk penghambatan kerak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



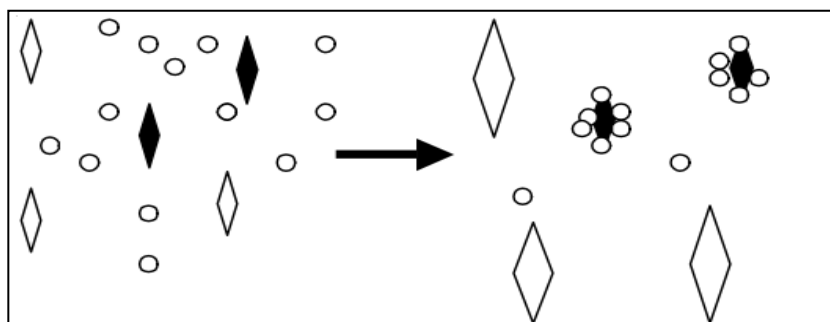
Gambar 5. Mekanisme pencegahan kerak dengan penghambatan ambang batas, dispersi, dan modifikasi kristal (Chauhan *et al.*, 2015).

Mekanisme kerja inhibitor kerak yaitu :

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

Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan pada Gambar 6. Gambar 6 memberikan gambaran bagaimana

kerja inhibitor dalam mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal dari bibit kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam) yang mengakibatkan pertumbuhan kristal menjadi terhambat. Sedangkan pada bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal yang tidak diberi warna) mengalami pertumbuhan normal (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014).



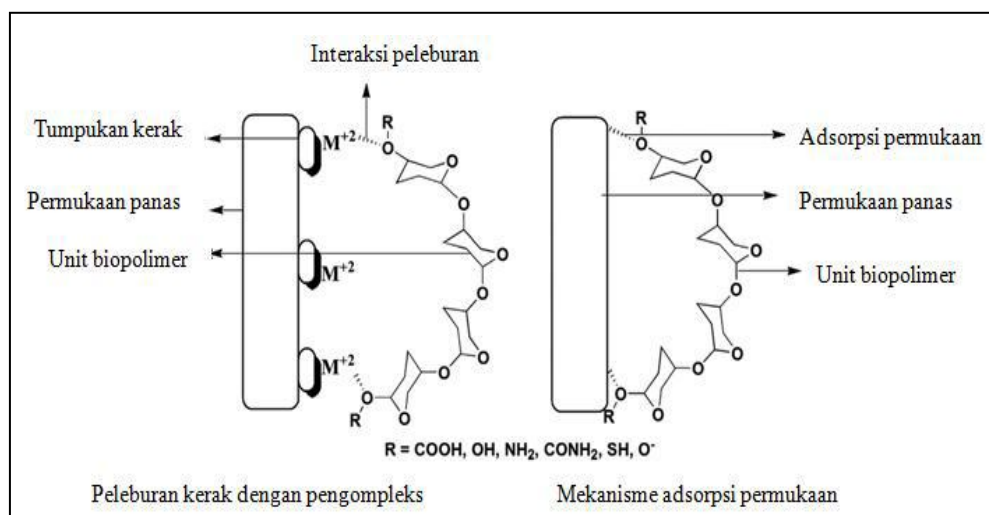
Gambar 6. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan ( $\circ$  = inhibitor,  $\diamond$  = bibit kristal) (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014).

Penggunaan inhibitor kerak seperti zat pengompleks dengan biodegradabilitas tinggi mengandung atom nitrogen, yang mampu berinteraksi dengan ion logam dan gugus asam karboksilat yang mampu mengkoordinasikan ion logam melalui oksigen (Kolodynska *et al.*, 2008). Kebanyakan inhibitor organik ramah lingkungan mengandung setidaknya satu gugus polar dengan atom nitrogen, sulfur, atau oksigen, sebagai situs *chemisorption*. Kerapatan elektron yang lebih tinggi dalam struktur inhibitor mampu mendorong efektivitas inhibitor dalam pencegahan kerak.

Senyawa kimia ramah lingkungan sebagai inhibitor akan membentuk selaput adsorpsi pada permukaan logam dan mencegah timbulnya kerak pada

permukaan logam. Adsorpsi bersifat subjektif terhadap kepadatan muatan permukaan logam dan juga muatan molekul inhibitor (Ma *et al.*, 2001). Kemampuan penghambatan tergantung pada jumlah tempat adsorpsi, kerapatan muatan, ukuran molekul, berat molekul, dan modus interaksi dengan permukaan logam untuk membentuk kompleks permukaan logam yang stabil (Wang *et al.*, 2001).

Contoh inhibitor ramah lingkungan yaitu asap cair tempurung kelapa *grade 2*. Gugus yang ada pada asap cair tempurung kelapa seperti -COOH, -OH, -NH<sub>2</sub> mampu melakukan adsorpsi pada permukaan kristal CaCO<sub>3</sub>. Adanya adsorpsi ini mampu menunda pertumbuhan kristal dari kristal yang biasanya tumbuh sangat teratur. Molekul inhibitor menyerap pada kisi-kisi pertumbuhan kristal yang aktif, menghasilkan penyumbatan dan pencegahan pertumbuhan lebih lanjut (Kurniawan, 2018). Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer ramah lingkungan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer ramah lingkungan (Chauhan *et al.*, 2015).

## K. Asap Cair

Asap cair (*liquid smoke*) merupakan campuran larutan dari dispersi asap kayu dalam air yang dibuat dengan mengkondensasikan asap hasil pirolisis kayu (Darmadji, 1996). Asap cair memiliki banyak manfaat salah satunya yaitu sebagai inhibitor (Choi *et al.*, 2001). Asap cair merupakan asam cuka (*vinegar*) diperoleh secara distilasi kering bahan baku asap misalnya batok kelapa, sabut kelapa atau kayu pada suhu 400 °C selama 90 menit lalu diikuti dengan peristiwa kondensasi dalam kondensor berpendingin air. Destilat yang diperoleh dimasukkan dalam corong pemisah untuk dipisahkan dari senyawa-senyawa kimia yang tidak diinginkan misalnya senyawa tar yang tidak larut dengan asam pirolignat. Asam pirolignat merupakan campuran dari asam-asam organik, fenol, aldehid, dan lain-lain (Pszczola, 1995). Pada Tabel 1 ditunjukkan komposisi kimia asap cair.

Tabel 1. Komposisi Kimia Asap Cair

| Komposisi Kimia | Jumlah (%) |
|-----------------|------------|
| Air             | 11-92      |
| Fenol           | 0,2-2,9    |
| Asam            | 2,8-4,5    |
| Karbonil        | 2,6-4,6    |
| Tar             | 1-17       |

Sumber: Maga (1988)

Asap diperoleh melalui pembakaran kayu keras dan kayu lunak yang banyak mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin (Maga, 1988).

Selanjutnya dikatakan, bahwa selain kayu juga dapat digunakan serabut dan

tempurung kelapa maupun merang padi sebagai penghasil asap (Zaitsev *et al.*, 1969). Hasil pirolisis dari senyawa selulosa, hemiselulosa, dan lignin diantaranya akan menghasilkan asam organik, fenol dan karbonil yang berbeda dalam proporsi diantaranya tergantung pada jenis kayu, kadar air kayu, dan suhu pirolisis yang digunakan (Yulistiani, 1997). Sutater *et al.* (1998) menyatakan bahwa sifat kimia dari serbuk sabut kelapa sangat bervariasi dari daerah mana kelapa tersebut diproduksi.

Asap cair sabut kelapa adalah asap cair yang terbuat dari sabut kelapa. Kadar fenol asap cair yang dihasilkan dari sabut kelapa adalah 3,03%, kemudian kadar karbonil sebesar 10,26%, dan kadar asam asetat 9,22% dengan pH sebesar 3,16 (Mappiratu, 2009). Sementara menurut (Anggraini, 2015) kandungan asap cair sabut kelapa yaitu kadar fenol 2,97%, asam asetat 6,8% dengan pH sebesar 2,62. Menurut Fatimah (2011) komponen senyawa kimia utama yang terkandung dalam asap cair sabut kelapa yaitu asam asetat, fenol, dan 1-hidroksil-2-propanon. Adanya komponen senyawa kimia tersebut yang menyebabkan asap cair sabut kelapa dapat digunakan sebagai inhibitor kerak  $\text{CaCO}_3$ . Pada Tabel 2 ditunjukkan komponen senyawa kimia asap cair sabut kelapa suhu 300 °C.

Tabel 2. Komponen Kondensat Sabut Kelapa Suhu 300 °C Hasil Deteksi GC-MS

| No. | Nama Senyawa                                    | Jumlah (%) |
|-----|---|------------|
| 1   | Fenol   | 44,1       |
| 2   | Pyridin, 3-methoxy                              | 0,92       |
| 3   | Butanoic acid, propyl ester                     | 0,70       |
| 4   | 2-cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl         | 1,68       |
| 5   | 1,3-dimethyl-2-cyclopenten                      | 0,13       |
| 6   | Fenol, 2-methyl                                 | 2,78       |
| 7   | Fenol, 2-methoxy                                | 14,84      |
| 8   | Oxyrane, propyl                                 | 0,19       |
| 9   | 2-methoxycyclohexanone / trans-2-methyl-4-hexan | 1,83       |
| 10  | 4-pyran-4-one, 3-hydroxy-2-metil                | 0,93       |
| 11  | 2-cyclopenten-1-one, 3ethyl-2-hydroxy           | 0,72       |
| 12  | Fenol, 2-ethyl                                  | 0,21       |
| 13  | Fenol, 2,4-dimethyl                             | 0,90       |
| 14  | Fenol, 3-ethyl                                  | 0,51       |
| 15  | Fenol, 3,4-dimethyl                             | 0,70       |
| 16  | 2-methoxy-4-methyl fenol                        | 1,99       |
| 17  | Pyridinone, 3-methyl                            | 1,04       |
| 18  | 1,2-benzenediol                                 | 7,22       |
| 19  | 1-methoxy-4-(1-methyl ethyl) cyclo              | 0,23       |
| 20  | 1,2-benzenediol, 3-methoxy                      | 1,95       |
| 21  | Fenol, 4-ethyl-2-methoxy                        | 0,55       |
| 22  | 1,2-benzenediol, 3-methyl                       | 1,69       |
| 23  | 4-methyl catechol                               | 4,54       |
| 24  | Fenol, 2,6-dimethoxy                            | 4,17       |
| 25  | 2,5-dihydroxybenzaldehyde                       | 0,29       |
| 26  | Benzaldehyde, 4-hydroxy-3-methoxy               | 0,27       |
| 27  | 1,3-benzenediol, 4-ethyl                        | 0,89       |
| 28  | 1,2,4-trimethoxybenzene                         | 0,83       |
| 29  | Etanone   | 0,27       |
| 30  | 3-(2-nepthyl)-1-butene                          | 0,32       |
| 31  | 2,6-dimethyl-4-hydroxyaniline                   | 1,45       |

Sumber: Luditama (2006)

### **L. *Unseeded Experiment***

*Unseeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara tanpa menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$ . Metode ini biasanya digunakan untuk pemeliharaan alat-alat industri yang masih baru sehingga dibutuhkan pencegahan pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$  (Aisah, 2016).

### **M. Analisis Menggunakan FTIR, GC-MS, SEM, XRD, dan PSA**

Pada penelitian ini dilakukan beberapa analisis. Analisis tersebut meliputi analisis gugus fungsi dan komponen kimia pada asap cair sabut kelapa dengan menggunakan *Fourier Transform-InfraRed* (FTIR) dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS), morfologi permukaan kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan SEM dan XRD, serta analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA. Analisis ini dilakukan agar dapat mengetahui efektivitas asap cair sabut kelapa dalam menghambat pembentukan kerak  $\text{CaCO}_3$ .

#### **1. *Fourier Transform-InfraRed* (FTIR)**

Spektrofotometri IR adalah metode yang digunakan dalam identifikasi struktur suatu senyawa yaitu dengan mengetahui adanya gugus-gugus fungsional utama dalam suatu sampel. Pada spektrofotometri IR, setiap gugus fungsi pada suatu senyawa akan menyerap radiasi infra merah pada panjang gelombang karakteristik. Sinar infra merah hanya dapat menyebabkan vibrasi (getaran) pada ikatan baik berupa rentangan (*stretching*) maupun berupa bengkokan (*bending*) (Sitorus, 2009). Bila



radiasi infra merah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi dan terjadilah transisi di antara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat energi tereksitasi (*excited state*) (Hendayana, 1994).

Apabila sinar infra merah dilewatkan melalui cuplikan senyawa organik, maka sejumlah frekuensi diserap sedangkan frekuensi yang lain diteruskan atau ditransmisikan (Sastrohamidjojo, 2002). Sinar infra merah mempunyai energi yang rendah dengan bilangan gelombang antara 600-4000  $\text{cm}^{-1}$  atau sekitar ( $1,7 \times 10^{-3}$  cm sampai dengan  $2,5 \times 10^{-4}$  cm). Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi-rotasi (Khopkar, 2001).

Analisis FTIR terhadap asap cair sabut kelapa pada penelitian ini diharapkan menghasilkan spektrum dengan pita serapan yang menunjukkan adanya gugus C=O dari asam karboksilat pada bilangan gelombang 1700-1725  $\text{cm}^{-1}$ . Selain itu, dapat menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang sekitar 3300  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C pada bilangan gelombang 3010-3095  $\text{cm}^{-1}$  atau 675-995  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-H alkana pada bilangan gelombang 2850-2970  $\text{cm}^{-1}$  atau 1340-1470  $\text{cm}^{-1}$ , dan aromatik pada bilangan gelombang 690-900  $\text{cm}^{-1}$  atau 3010-3100  $\text{cm}^{-1}$  (Fessenden dan Fessenden, 1986; Skoog *et al.*, 2007). Pada Tabel 3 ditunjukkan gugus fungsi yang terdapat pada asap cair sabut kelapa menurut Santoso (2015).

Tabel 3. Gugus Fungsi pada Asap Cair Sabut Kelapa

| Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> ) | Intensitas    | Gugus Fungsi         |
|--|---------------|----------------------|
| 3425,58                                | <i>Strong</i> | O-H                  |
| 2924,09                                | <i>Weak</i>   | C-H, sp <sup>3</sup> |
| 1604,77                                | <i>Medium</i> | C=O                  |
| 1458,18                                | <i>Weak</i>   | CH <sub>2</sub>      |
| 1381,03                                | <i>Weak</i>   | CH                   |
| 1111,00                                | <i>Medium</i> | C-O                  |

Sumber: Santoso (2015)

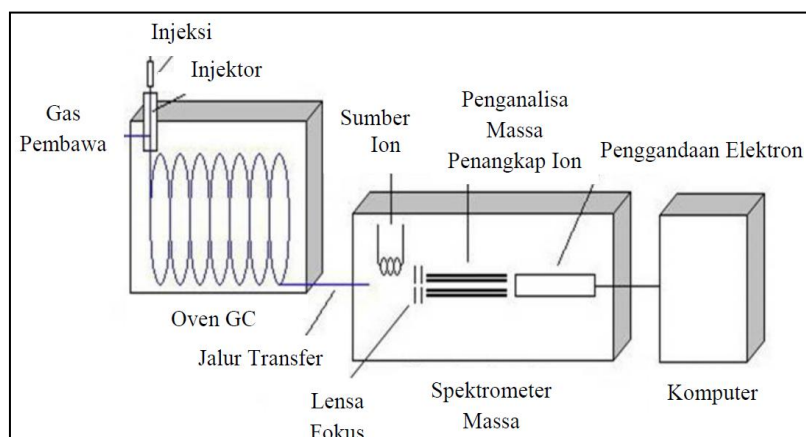
## 2. *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

*Gas Chromatography* adalah salah satu teknik kromatografi yang hanya dapat digunakan untuk mendeteksi senyawa-senyawa yang mudah menguap. Kriteria menguap adalah dapat menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah serta dapat dipanaskan (Drozd, 1985). *Gas Chromatography* merupakan metode analisis berdasarkan perbedaan waktu retensi akibat perbedaan mobilitas analit melalui suatu kolom. Perbedaan mobilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu titik didih analit, gas, dan interaksi dengan fase padat dalam kolom. Prinsip dasar kromatografi adalah pemisahan senyawa-senyawa berdasarkan adanya perbedaan distribusi fasa gerak dan fasa diam (McNair dan Bonelli, 1998).

Spektrofotometri massa dapat dikatakan berfungsi untuk mengionisasi molekul sampel dalam kondisi vakum dan mengukur massa dari ion-ion yang ditimbulkan. Prinsip pengukurannya yaitu molekul induk dalam bentuk gas ditembak dengan elektron berenergi tinggi sehingga terionisasi menjadi fragmen-fragmen dengan massa molekul yang lebih kecil.

Spektrofotometer massa terdiri dari pengion (*ionizer*), lensa, kuadrupe, dan detektor. Pengion akan mengionisasi molekul sampel dalam sumber ion (Ratnaningsih, 2000).

*Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) adalah gabungan metode analisis antara GC dan MS. *Gas Chromatography* di sini hanya berfungsi sebagai sarana pemisah tanpa dilengkapi dengan detektor sebagaimana GC pada umumnya, tetapi yang berfungsi sebagai detektornya adalah MS. Kemampuan dan aturan pemisahannya akan mengikuti aturan pada GC, demikian pula aturan fragmentasi dan pola spektrum massa akan mengikuti aturan MS. Adanya gabungan kedua metode tersebut akan memberikan keuntungan yang lebih baik karena senyawa yang telah dipisahkan oleh GC dapat langsung dideteksi oleh MS. *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* mampu memisahkan komponen-komponen dalam suatu analit sekaligus menentukan jenis komponen tersebut melalui spektrum massanya. Instrumentasi beserta komponen GC-MS dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Instrumentasi GC-MS (Pavia, 2006).

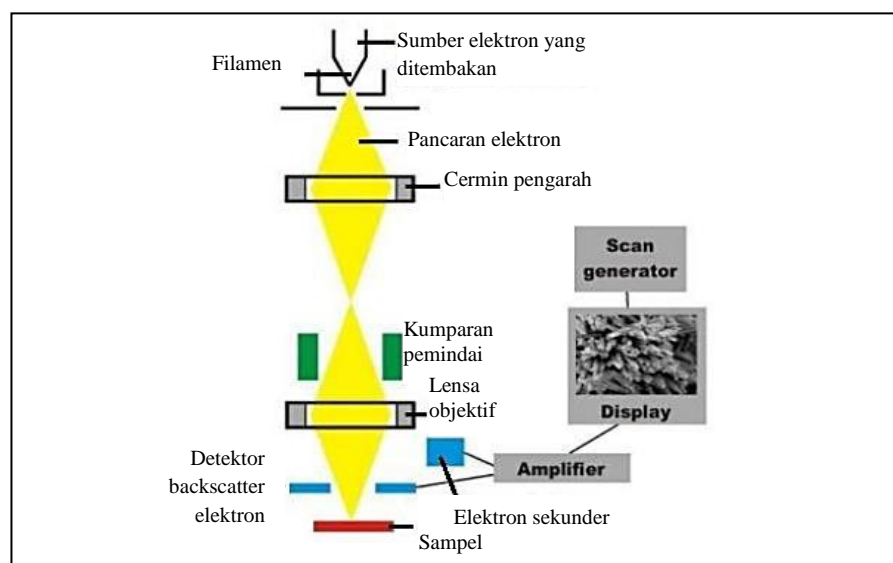
Prinsip kerja dari GC-MS adalah sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor kemudian diuapkan. Sampel yang berupa uap dibawa oleh gas pembawa menuju ke kolom untuk proses pemisahan. Setelah terpisah, masing-masing komponen akan melalui ruang pengion dan dibombardir oleh elektron sehingga terjadi ionisasi. Fragmen-fragmen ion yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor dan dihasilkan spektrum massa (Pavia, 2006).

Analisis GC-MS dilakukan untuk mengetahui komponen senyawa kimia yang menyusun asap cair sabut kelapa. Menurut Fatimah (2011) komponen senyawa kimia utama yang terkandung dalam asap cair sabut kelapa yaitu asam asetat, fenol, dan 1-hidroksil-2-propanon. Sementara menurut Luditama (2006) yaitu fenol, 2-metoksi fenol, dan 1,2-benzendiol. Perbedaan hasil analisis komponen kimia dapat terjadi karena komponen kimia asap cair berbeda-beda tergantung pada bahan dasar atau material pirolisis serta metode pirolisis yang digunakan (Putnam, 1999).

### 3. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

*Scanning Electron Microscopy (SEM)* adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati dan menganalisis karakteristik struktur mikro dari bahan padat yang konduktif maupun nonkonduktif. Sistem pencahayaan pada SEM menggunakan radiasi elektron yang mempunyai  $\lambda = 200\text{--}0,1 \text{ \AA}$ , daya pisah (resolusi) yang tinggi sekitar 5 nm sehingga dapat dicapai perbesaran hingga  $\pm 100.000$  kali karena mempunyai *depth*

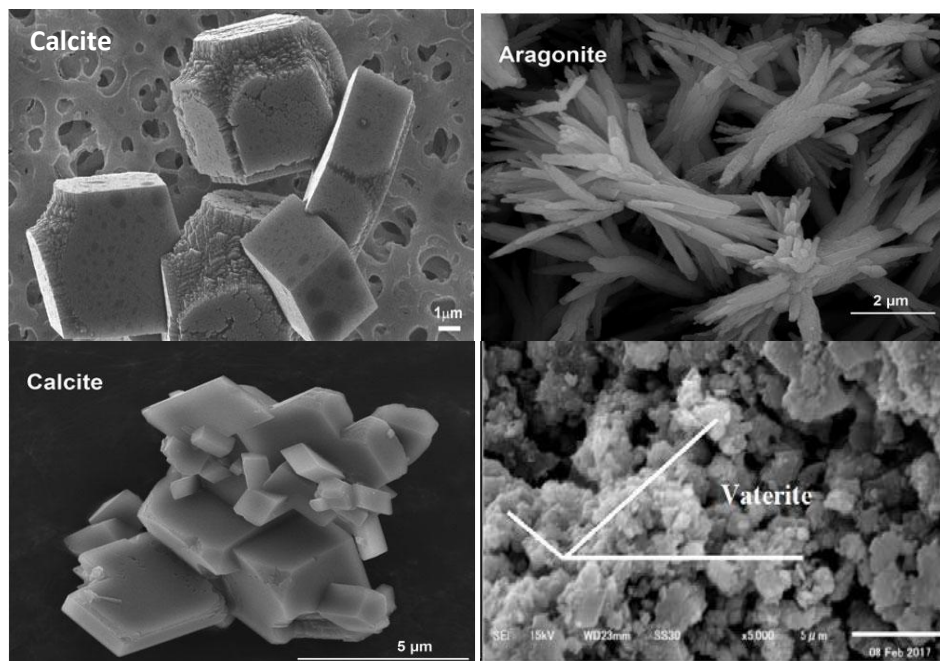
*of field* yang tinggi. Hal ini menyebabkan SEM mampu menghasilkan gambar yang lebih baik dibandingkan dengan hasil mikroskop optik. Aplikasi mikroskop elektron ini tidak hanya terbatas pada analisis logam dan paduan di bidang metalurgi, melainkan dapat diaplikasikan di berbagai bidang lain. Kelebihan menggunakan SEM antara lain material atau sampel dapat dikarakterisasi tanpa persiapan khusus, karena itu sampel yang tebal sekalipun (*bulk*) juga dapat dianalisis. Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Penentuan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-Ray Spectrometer*) atau WDS (*Wavelength Dispersive X-Ray Spectrometer*). Prinsip dasar dari SEM adalah interaksi antara berkas elektron dengan spesimen padatan (Handayani dan Sitompul, 1996). Skema bagan SEM ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Skema bagan SEM (Smallman, 1991).

Analisis menggunakan SEM pada penelitian ini untuk mengetahui morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$ . Menurut Suharso *et al.* (2017) hasil analisis kerak  $\text{CaCO}_3$  menggunakan SEM mengalami perubahan morfologi kerak, setelah penambahan inhibitor morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$  menjadi sedikit lebih kecil dan halus dibandingkan tanpa penambahan inhibitor ekstrak gambir yang termodifikasi. Adanya penambahan inhibitor asap cair tempurung kelapa *grade 2* (Kurniawan, 2018) dan inhibitor asam tartrat (Kardiman dkk., 2017) juga menyebabkan kerak  $\text{CaCO}_3$  mengalami perubahan morfologi.

Morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$  tanpa penambahan inhibitor didominasi oleh kristal fasa kalsit sedikit fasa aragonit (Kurniawan, 2018) dan fasa kalsit sedikit vaterit (Kardiman dkk., 2017). Sedangkan, morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$  setelah penambahan inhibitor tampak kristal yang terbentuk didominasi oleh fasa aragonit dan vaterit, serta terdapat sedikit fasa kalsit, namun fasa kalsit yang terbentuk pertumbuhannya tidak merata dan rapuh (Kardiman dkk., 2017; Kurniawan, 2018). Pada Gambar 10 ditunjukkan morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$  hasil analisis menggunakan SEM.



Gambar 10. Morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$  fasa kalsit, aragonit, dan vaterit (Ji *et al.*, 2010; Nebel *and* Epple, 2008; Choi *et al.*, 2017).

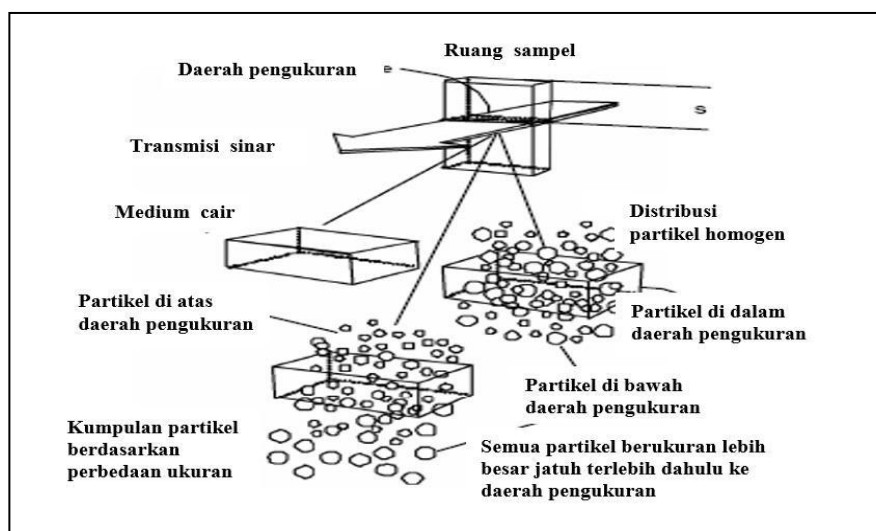
#### 4. *Particle Size Analyzer (PSA)*

*Particle Size Analyzer (PSA)* dapat menganalisis partikel suatu sampel yang berfungsi untuk menentukan ukuran partikel dan distribusinya. Distribusi ukuran partikel dapat diketahui melalui gambar yang dihasilkan. Ukuran tersebut dinyatakan dalam jari-jari untuk partikel yang berbentuk bola. Penentuan ukuran dan distribusi partikel menggunakan PSA dapat dilakukan dengan: (1) difraksi sinar laser untuk partikel dari ukuran submikron sampai dengan millimeter, (2) *counter principle* untuk mengukur dan menghitung partikel yang berukuran mikron sampai dengan millimeter, (3) penghamburan sinar untuk mengukur partikel yang berukuran mikron sampai dengan nanometer (Etzler, 2004).

PSA mampu mengukur distribusi ukuran partikel ukuran emulsi, suspensi, dan bubuk kering (Totoki *et al.*, 2007). Keunggulan dari PSA antara lain:

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

Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf (Webb, 2002).

Analisis menggunakan PSA untuk mengetahui distribusi ukuran partikel kerak  $\text{CaCO}_3$ . Menurut Kurniawan (2018) dan Suharso *et al.* (2017) hasil analisis kerak  $\text{CaCO}_3$  sebelum dan sesudah penambahan inhibitor menggunakan PSA mengalami perubahan distribusi ukuran partikel. Kerak  $\text{CaCO}_3$  tanpa inhibitor memiliki nilai tengah (*median*) sebesar 44,51



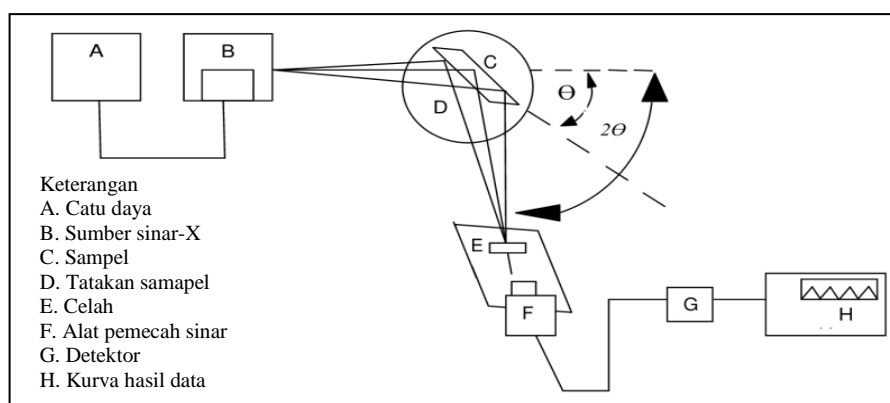
$\mu\text{m}$  dan nilai rata-rata (*mean*) sebesar  $133,70 \mu\text{m}$ . Setelah penambahan inhibitor 50 ppm ukuran partikel kerak  $\text{CaCO}_3$  memiliki nilai tengah (*median*) sebesar  $6,40 \mu\text{m}$  dan nilai rata-rata (*mean*) sebesar  $8,26 \mu\text{m}$ . Jadi kerak  $\text{CaCO}_3$  tanpa penambahan inhibitor dan dengan penambahan inhibitor memiliki selisih distribusi ukuran partikel berdasarkan nilai *median* sebesar  $38,11 \mu\text{m}$  dan berdasarkan nilai *mean* sebesar  $125,44 \mu\text{m}$  (Kurniawan, 2018). Hasil analisis Suharso *et al.* (2017) menunjukkan bahwa dalam larutan pertumbuhan 0,1 M rata-rata distribusi ukuran partikel kerak  $\text{CaCO}_3$  tanpa inhibitor sekitar  $10,6 \mu\text{m}$  dan setelah ditambahkan inhibitor rata-rata distribusi ukuran partikelnya menjadi  $5,01 \mu\text{m}$ .

## 5. X-Ray Diffraction (XRD)

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

Analisis difraksi sinar-X didasarkan pada susunan sistematis atom-atom atau ion-ion di dalam bidang kristal yang dapat tersusun sedemikian rupa sehingga membentuk kisi kristal dengan jarak antar bidang ( $d$ ) yang khas.

Setiap spesies mineral mempunyai susunan atom yang berbeda-beda sehingga membentuk bidang kristal yang dapat memantulkan sinar-X dalam pola difraksi yang karakteristik. Pola difraksi inilah yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa (Rini, 2016). Skema kerja dari alat XRD ditunjukkan pada Gambar 12.

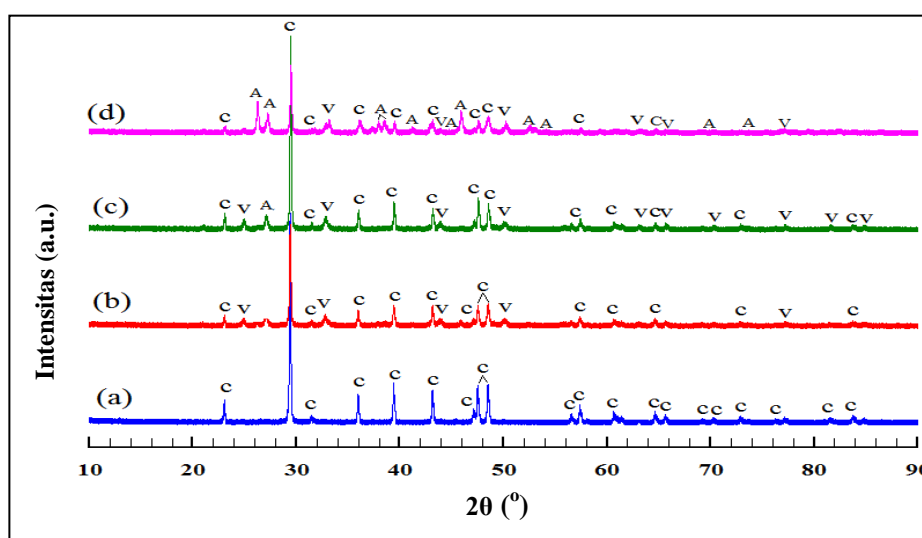


Gambar 12. Skema kerja alat XRD (Callister *and* David, 2009).

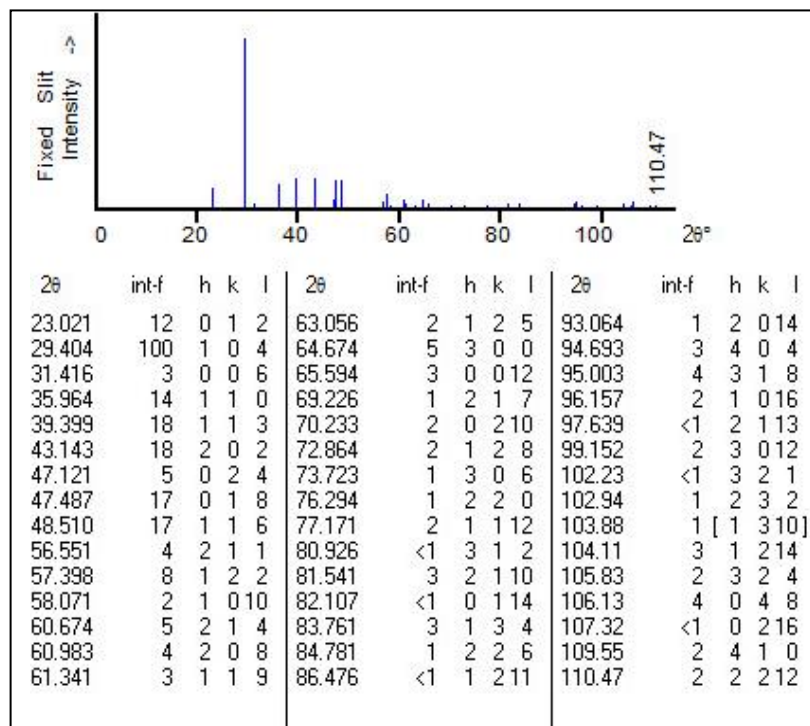
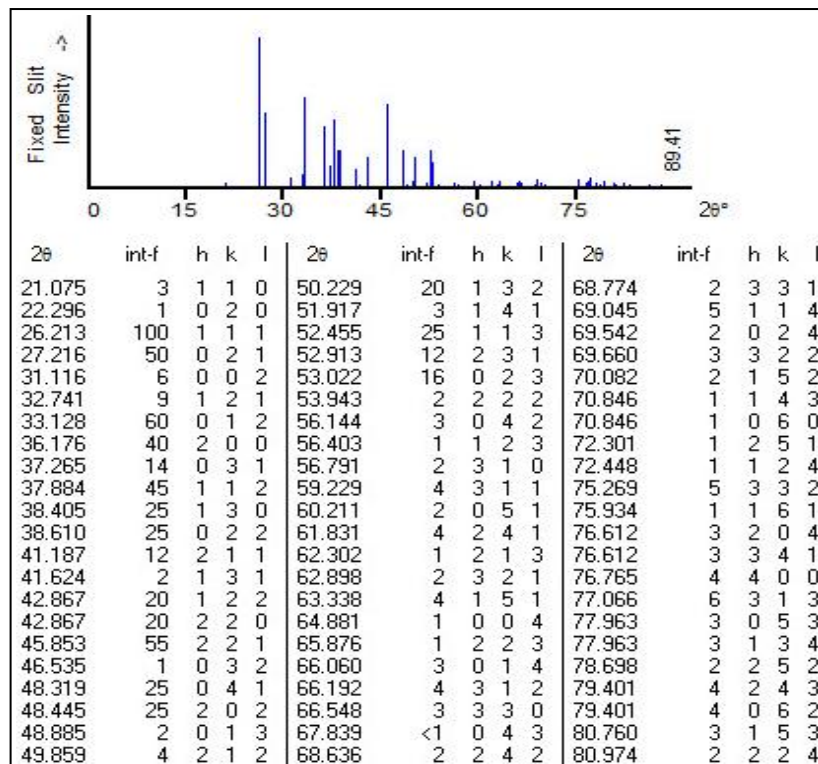
Pada analisis menggunakan XRD, generator tegangan tinggi (A) berfungsi sebagai catu daya sumber sinar-X (B). Sampel berbentuk pelet (C) diletakkan di atas tatakan (D) yang dapat diatur. Berkas sinar-X didifraksikan oleh sampel dan difokuskan melewati celah (E), kemudian masuk ke alat pencacah (F). Intensitas difraksi sinar-X direkam (G) dan ditampilkan dalam bentuk kurva (H) terhadap jarak antar bidang (d) (Callister *and* David, 2009).

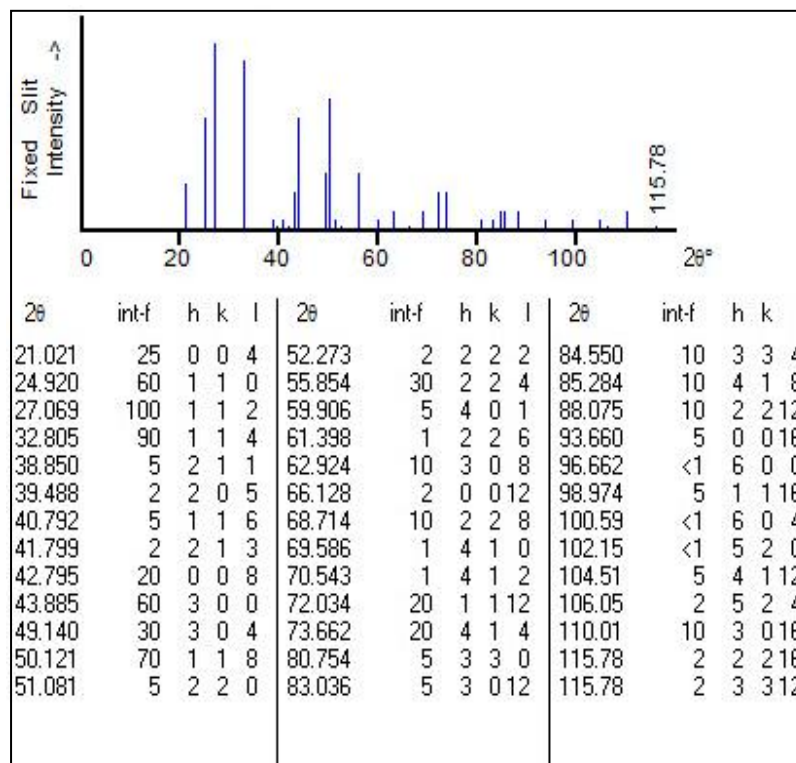
Analisis menggunakan XRD berfungsi untuk mengetahui struktur kristal  $\text{CaCO}_3$ . Menurut Kurniawan (2018) dan Kardiman dkk. (2017) hasil analisis kerak  $\text{CaCO}_3$  sebelum dan sesudah penambahan inhibitor menggunakan XRD menunjukkan adanya perbedaan pola XRD fasa kerak

kalsium karbonat tanpa adanya penambahan inhibitor dan setelah penambahan inhibitor. Tanpa penambahan inhibitor fasa kerak  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk yaitu adanya fasa kalsit yang mendominasi dan aragonit (Kurniawan, 2018) dan menurut Kardiman dkk. (2017) fasa yang terbentuk didominasi oleh kalsit dan sedikit vaterit. Adanya penambahan inhibitor asap cair tempurung kelapa *grade 2* (Kurniawan, 2018) dan asam tartrat (Kardiman dkk., 2017) menyebabkan perubahan fasa menjadi fasa vaterit, aragonit, dan sedikit kalsit. Gambar 13 merupakan difraktogram dari  $\text{CaCO}_3$  sebelum dan sesudah penambahan inhibitor atau aditif. Pada Gambar 14,15, dan 16 ditunjukkan pola XRD dan  $2\theta$  standar kristal  $\text{CaCO}_3$  fasa kalsit, aragonit, dan vaterit sesuai dengan data standar JCPDS  $\text{CaCO}_3$  kalsit (05-0586), aragonit (41-1475), dan vaterit (33-0268) yang dijadikan sebagai acuan dalam identifikasi fasa kristal yang muncul pada puncak difraktogram.



Gambar 13. Pola XRD kerak  $\text{CaCO}_3$  (a) tanpa aditif asam tartrat, (b) aditif 4 ppm, (c) aditif 6 ppm dan (d) aditif 10 ppm (Kardiman dkk., 2017).

Gambar 14. Pola XRD dan 2θ standar kristal CaCO<sub>3</sub> fase kalsit.Gambar 15. Pola XRD dan 2θ standar kristal CaCO<sub>3</sub> fase aragonit.



Gambar 16. Pola XRD dan  $2\theta$  standar kristal CaCO<sub>3</sub> fase vaterit.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik dan Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Januari sampai April 2019. Analisis gugus fungsi asap cair sabut kelapa menggunakan FTIR dan analisis morfologi permukaan kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan SEM dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung, analisis komponen senyawa kimia asap cair sabut kelapa menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada, analisis distribusi ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan PSA dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran, dan analisis struktur kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan XRD dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh November.

#### B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu alat-alat gelas yang sering digunakan di laboratorium, *waterbath* merek Thermoscientific AC 200/S21 *made in* United Kingdom, gelas-gelas plastik, spatula, *hotplate stirrer* merek Stuart CB 162 *made in* United Kingdom, oven merek Innotech *made in* China, pH meter merek 827 Metrohm *made in* Swiss, neraca analitik merek

Airshwoth AA-160 *made in* Japan, FTIR merek Cary 630 Agilent *made in* United State of America, SEM merek Carl Zeiss evo MA10 *made in* Canada, XRD merek Philip Analytical *made in* Netherlands, GC-MS merek Shimadzu GC2010 MSQP 2010S *made in* Japan, dan PSA merek Coulter LS 13320 *made in* United State of America.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu  $\text{CaCl}_2$  anhidrat merek CRp Chemical Product *made in* China,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  merek CRp Chemical Product *made in* China, akuades, kertas saring, dan asap cair sabut kelapa.

## **C. Prosedur Penelitian**

### **1. Asap Cair**

Pada penelitian ini digunakan asap cair sabut kelapa yang diperoleh dari Politeknik Negeri Lampung (POLINELA). Asap cair sabut kelapa dihasilkan melalui proses metode pirolisis yaitu penguraian sabut kelapa dengan bantuan panas tinggi tanpa adanya oksigen atau dengan menggunakan oksigen dalam jumlah yang terbatas kemudian didapat asap cair sabut kelapa *grade* 3.

### **2. Preparasi Inhibitor**

Pada penelitian ini digunakan asap cair dari sabut kelapa dengan variasi konsentrasi 5, 15, 25, dan 35%. Pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 5% dilakukan dengan cara 50 mL asap cair sabut kelapa diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL, lalu dihomogenkan.

Perlakuan yang sama akan dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15, 25, dan 35% (Setiososari, 2017). Inhibitor dianalisis dengan menggunakan FTIR dan GC-MS.

### **3. Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal $\text{CaCO}_3$**

Tahapan untuk menguji asap cair sabut kelapa sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal  $\text{CaCO}_3$  dengan metode *unseeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut (Setiososari, 2017):

#### **a. Penentuan Laju Pertumbuhan $\text{CaCO}_3$ Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment***

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,050 M  $\text{CaCl}_2$  anhidrat dan larutan 0,050 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  masing-masing dalam 200 mL akuades.

Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan  $\text{CaCl}_2$  anhidrat 0,050 M dan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,050 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk larutan 0,025 M  $\text{CaCO}_3$  dari larutan berkonsentrasi 0,050 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dimasukkan ke dalam 7 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai



kesetimbangan lalu satu gelas diambil. Selanjutnya disaring menggunakan kertas saring, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam dan ditimbang. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir (pengamatan dilakukan selama 75 menit). Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebesar 0,075; 0,100; dan 0,125 M untuk membuat larutan pertumbuhan  $\text{CaCO}_3$  sebesar 0,038; 0,050; dan 0,063 M.

**b. Penentuan Laju Pertumbuhan  $\text{CaCO}_3$  dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment***

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,050 M  $\text{CaCl}_2$  anhidrat dan larutan 0,050 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  masing-masing dalam 200 mL inhibitor (asap cair sabut kelapa) 5%. Masing-masing larutan akan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan.

Kemudian larutan  $\text{CaCl}_2$  anhidrat 0,050 M dan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,050 M dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk larutan 0,025 M  $\text{CaCO}_3$  dari larutan berkonsentrasi 0,050 M dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan  $\text{CaCO}_3$  yang terbentuk dimasukkan ke dalam 7 gelas plastik masing-masing sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C selama 15 menit untuk mencapai

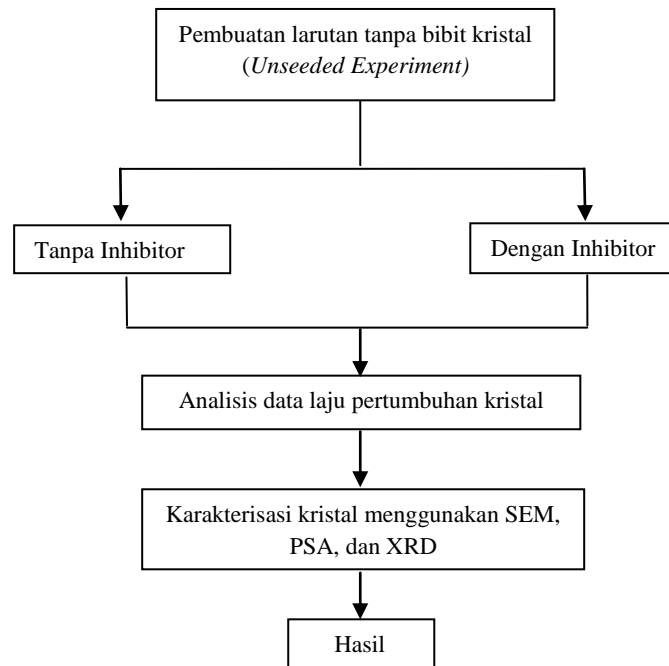
kesetimbangan lalu satu gelas diambil. Selanjutnya disaring menggunakan kertas saring, lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3 jam dan ditimbang. Kemudian gelas diambil lagi setiap 10 menit sekali hingga pada gelas yang terakhir (pengamatan dilakukan selama 75 menit). Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebesar 0,050; 0,075; 0,100; dan 0,125 M serta pada variasi konsentrasi inhibitor 5, 15, 25, dan 35%.

#### **4. Analisis Data**

Data yang diperoleh berupa jumlah endapan terhadap waktu melalui proses penimbangan dan perhitungan dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing diplot sebagai jumlah endapan terhadap waktu menggunakan *Microsoft Excel*. Morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$  sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan SEM. Perubahan ukuran partikel dari kelimpahan  $\text{CaCO}_3$  pada masing-masing endapan dari setiap proses percobaan yang dilakukan juga dianalisis dengan PSA. Struktur kristal  $\text{CaCO}_3$  sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan XRD.

#### **D. Diagram Alir Penelitian**

Secara keseluruhan penelitian ini terangkum dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan dalam Gambar 17.



Gambar 17. Diagram alir penelitian.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh simpulan sebagai berikut :

1. Asap cair sabut kelapa dapat digunakan sebagai inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$  dengan metode *unseeded experiment*, yang ditunjukkan dengan perbedaan nilai laju pertumbuhan, morfologi, struktur, dan distribusi ukuran partikel kristal  $\text{CaCO}_3$ .
2. Nilai persen efektivitas tertinggi diperoleh pada konsentrasi larutan pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$  0,025 M dengan menggunakan inhibitor asap cair sabut kelapa konsentrasi 35% yaitu sebesar 88,41%.
3. Analisis morfologi permukaan kerak  $\text{CaCO}_3$  menggunakan SEM menunjukkan bahwa terjadi perubahan morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$ , sebelum penambahan inhibitor kerak didominasi fasa kalsit dan aragonit, sedangkan setelah penambahan inhibitor kerak  $\text{CaCO}_3$  didominasi fasa kalsit dan vaterit.

4. Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA menunjukkan bahwa kerak  $\text{CaCO}_3$  mengalami penurunan distribusi ukuran partikel setelah ditambahkan inhibitor yang dapat dilihat dari rata-rata (*mean*) yaitu dari 10,00 menjadi 4,889  $\mu\text{m}$  dan nilai tengah (*median*) yaitu dari 9,359 menjadi 4,467  $\mu\text{m}$ .
5. Analisis struktur kristal  $\text{CaCO}_3$  menggunakan XRD menunjukkan adanya fasa kristal kalsit dan aragonit pada difraktogram tanpa penambahan inhibitor, sedangkan setelah penambahan inhibitor muncul fasa baru yaitu fasa vaterit dimana fasa aragonit secara keseluruhan menghilang.

## B. Saran

Supaya dapat meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran berupa perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penghambatan kerak  $\text{CaCO}_3$  dari bahan berbeda yang memiliki nilai pH lebih tinggi agar tidak memicu terjadinya masalah lain pada pipa contohnya seperti korosi. Perlu dilakukan juga penelitian penggunaan inhibitor asap cair sabut kelapa baik *grade* 3 maupun 2 untuk penghambatan terhadap kerak jenis lain dengan menggunakan metode yang sama yaitu *unseeded experiment* maupun dengan metode lain serta dilakukan uji korosi. Perlu digunakan inhibitor dengan konsentrasi lebih dari 35% dan karakterisasi kerak pada berbagai konsentrasi larutan pertumbuhan  $\text{CaCO}_3$  untuk mengetahui kondisi optimum dan pengaruh inhibitor. Selain itu, perlu dilakukannya penelitian untuk mempelajari mekanisme secara kimia proses inhibisi laju pertumbuhan kerak oleh inhibitor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel, A.N. and Sawada, K. 2003. Inhibition of Adhesion and Precipitation of  $\text{CaCO}_3$  by Aminopolyphosphonate. *Journal of Crystal Growth*. 256: 188-200.
- Addicott, J.F., Aho, J.M., Antolin, M.F., Padilla, D.K., Richardson, J.S., and Soluk, D.A. 1987. Ecological Neighborhoods: Scaling Environmental Patterns. *OIKOS Journal*. 49 (3): 340-346.
- Ahmadi, J. and Steinhagen, M.M. 2007. Heat Exchanger Fouling and Cleaning in The Dihydrate Process for The Production of Phosphoric Acid. *Chemical Engineering Research Design*. 85: 245-255.
- Aisah, S. 2016. Efek Penambahan Gambir, Kemenyan Putih, dan Senyawa Aditif Golongan Karboksilat sebagai Inhibitor Kerak  $\text{CaCO}_3$ . (Skripsi). Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Lampung. Lampung. Hlm. 60.
- Al-Deffeeri, N.S. 2006. Heat Transfer Measurement as Acrriterion for Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plantsin Kuwait. *Desalination*. 204: 423-436.
- Amjad, Z. 1987. Kinetics of Crystal Growth of Calcium Sulfate Dihydrate, the Influence of Polymer Composition, Molecular Weight, and Solution pH. *Canadian Journal of Chemistry*. 66 (6): 1529-1536.
- Anggraini, S.P.A. 2015. *Potensi dan Pemanfaatan Limbah Kelapa menjadi Asap Cair sebagai Pengawet pada Industri Kayu dan Karet*. Seminar Nasional Teknologi. Institut Teknologi Nasional Malang. Malang. Hlm. 695-703.
- Arsyad, M.N. 2001. *Kamus Kimia Arti dan Penjelasan Istilah*. Gramedia. Jakarta. Hlm. 385.
- 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.

- Bakhtiar, A. 1991. Manfaat Tanaman Gambir. *Makalah Penataran Petani dan Pedagang Pengumpul Gambir di Kecamatan Pangkalan Kabupaten 50 Kota 29-30 November 1991*. FMIPA Universitas Andalas. Padang. Hlm. 23.
- Baraka, L.S. and Sorbie, K.S. 2010. Effect of pH and Scale Inhibitor Concentration on Phosphonate-Carbonate Interaction. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 70 (1-2): 10-27.
- Basim, O.H., Graham J.N., Peter J.A., and Richard, A.C. 2012. The Effects of Temperature and Hydrodynamics on The Crystallization Fouling Under Cross Flow Conditions. *Applied Thermal Engineering*. 36: 210-218.
- Brown, G.G. 1978. *Unit Operation*. Modern Asia Edition. 3<sup>rd</sup> Edition. Tokyo. p. 611.
- Callister, W.D and David, R.G. 2009. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8<sup>th</sup> Edition. John Wiley & Sons Inc. New York. p. 74.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G.S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scale and Deposits*. Pp. 701-720.
- Choi, B.C.K., Tennassee, L.M., and Eijkemans, G.J.M. 2001. Developing Regional Workplace Health and Hazard Surveillance in The Americas. *Pan American Journal of Public Health*. 10 (6): 376-381.
- 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.
- Cotton, F.A. dan Wilkinson, G. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. Diterjemahkan Oleh Suharto, S. UI-Press. Jakarta. Hlm. 665.
- Cowan, J.C. and Weintritt, D.J. 1976. Water-Formed Scale Deposit. Houston, Texas. *Gulf Publishing Co*. Pp. 512-520.
- Cullity, B.D. 1987. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. New York. Pp. 493-496.
- Daintith, J. 1994. *Kamus Lengkap Kimia*. Diterjemahkan Oleh Achmadi, S. Erlangga. Jakarta. Hlm. 473.
- Darmadji, P. 1996. Aktivitas Antibakteri Asap Cair dari Berbagai-bagai Limbah Pertanian. *Agricultural Technology*. 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*. Pp. 33-46.
- Demadis, K.D., Anagnostou, Z., and Zhao, H. 2009. Novel Calcium Carboxyphosphonate/Polycarboxylate Inorganic-Organic Hybrid Materials from Demineralization of Calcitic Biomineral Surfaces. *ACS Applied Materials Interfaces*. 1: 35-38.
- Demadis, K.D., Lykoudis P., Raptis, R.G., and Mezei, G. 2006. Phosphonopolycarboxylates as Chemical Additives for Calcite Scale Dissolution and Metallic Corrosion Inhibition Based on a Calcium-Phosphonotricarboxylate Organic-Inorganic Hybrid. *Crystal Growth Desalination*. 6: 1064-1067.
- Drozd, J. 1985. Chemical Derivatization in Gas Chromatography. *Journal of Chromatography Library*. 19: 21-22.
- Etzler, F.M. 2004. Particle Size Analysis: A Comparison of Methods. *American Pharmaceutical Review*. 7 (1): 104-108.
- Fatimah, F. 2011. Komposisi dan Aktivitas Antibakteri Asap Cair Sabut Kelapa yang Dibuat dengan Teknik Pembakaran Non Pirolisis. *Agricultural Technology*. 31 (4): 305-311.
- Fessenden, R.J. dan Fessenden, J.S. 1986. *Kimia Organik Jilid 1*. Edisi Ketiga. Diterjemahkan Oleh Pudjaatmaka, A.H. Erlangga. Jakarta. Hlm. 311-326.
- Halimatuddahlia. 2003. Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi. *Laporan Penelitian*. FMIPA-USU. Medan. Hlm. 1-8.
- Halipah, S. 2016. Pembuatan Nanokalsium dengan Metode Presipitasi dari Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna sp.*) dan Aplikasinya sebagai Sediaan Antipersensitifitas Dentin. (Skripsi). Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Instiitut Pertanian Bogor. Bogor. Hlm. 59.
- Handayani, A. dan Sitompul, A.S. 1996. Teknik Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM-EDAX. *Makalah Kunjungan dan Demo PTBIN BATAN*. Serpong. Hlm. 27.
- Hasson, D. and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater. *Desalination. Israel Journal of Chemistry*. 46: 97-104.
- Hendayana, S. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Edisi Pertama. IKIP Semarang Press. Semarang. Hlm. 253.



- Higashitani, K.A., Kage, S., Katamura, Imai, K., and Hatade, S. 1993. Effect of Magnetic Field on The Formation  $\text{CaCO}_3$  Particles. *Journal of Colloid Interface Science*. 156: 90-95.
- Holysz, L., Szczes, A., and Chibowski, E. 2007. Effect of a Static Magnetic Field on Water and Electrolyte Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. 316: 996-1002.
- Hossaen, A. 2000. *Particle Size Analyzer*. King Fahd Petroleum & Mineral. Arab Saudi. p. 83.
- Ji, B., Cusack, M., Freer, A., Dobson, P.S., Gadegaard, N., and Yin, H. 2010. Control of Crystal Polymorph in Microfluids Using Molluscan 28 kDa  $\text{Ca}^{2+}$ -Binding Protein. *Integrative Biology*. 2: 528-535.
- Jones, F., Oliveira, A., Rohl, A., Ogden, M., and Parkinson, G. 2006. Understanding The Mechanism By Which Nitriilotriacetic Acid Interacts with Precipitating Barium Sulfate. *Crystal Engineering Communication*. 8: 869-876.
- Kardiman, Widiyanto, E., Bayuseno, A.P., dan Muryanto, S. 2017. Analisis Pertumbuhan Fasa Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Akibat Penambahan Asam Tartrat ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ ) sebagai Aditif. *Jurnal Ilmu dan Aplikasi Teknik*. 2 (1): 1-4.
- Khopkar, S.M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Diterjemahkan Oleh Saptorahardjo, A. UI Press. Jakarta. Hlm. 194-196.
- Knepper, T.P. 2003. Synthetic Chelating Agents and Compounds Exhibiting Complexing Properties in The Aquatic Environment. *Trend in Analytical Chemistry*. 22: 708-724.
- Kołodynska. 2011. The Chelating Agents of a New Generation as an Alternative to Conventional Chelators for Heavy Metal Ions Removal from Different Waste Waters. In: *Expanding Issues Desalination*. Edited by Ning, R.Y. IntechOpen. Pp. 339-371.
- Kołodynska, D., Hubicki, Z., and Geca, M. 2008. Application of a New-Generation Complexing Agent in Removal of Heavy Metal Ions From Aqueous Solutions. *Industrial and Engineering Chemistry*. 47: 3192-3199.
- Kragh L.G., Sanderson, W.G., and Sumner, R.B. 1981. *Waste Heat Disposal Process*. Patent No. US 4299786 A. Dalam: Setiososari, E. 2017. Studi Penambahan Asap Cair sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*. (Skripsi). Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung. Hlm 6-7.

- 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. Hlm. 64-74.
- 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. Hlm. 15-21.
- Lestari, D.E. 2008. *Kimia Air, Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Riset*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN. Serpong. Hlm. 95-104.
- Luditama, C. 2006. Isolasi dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar Tempurung Kelapa Secara Pirolisis dan Destilasi. (Skripsi). Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Hlm. 18-41.
- Ma, H., Chen, S., Zhao, S., Liu, X., and Li, D. 2001. A Study of Corrosion Behavior of Copper in Acidic Solutions Containing Cetyltrimethylammonium Bromide. *Journal Electrochemical Society*. 148: 482-488.
- Maga, J.A. 1988. *Smoke in Food Processing*. 1<sup>st</sup> Edition. CRC Press. Florida. p. 168.
- Maley, M. 1999. *Inhibition of Calcite Nucleation and Growth Using Phoshonate*. Thesis Curtin University of Technology Western Australia. Australia. p. 43.
- Mao, Z. and Huang, J. 2007. Habit Modification of Calcium Carbonate in The Presence of Malic Acid. *Journal of Solid State Chemistry*. 180: 453-460.
- Mappiratu. 2009. Kajian Teknologi Produksi Asap Cair dari Sabut Kelapa. *Media Penelitian dan Pengembangan Sulawesi Tengah*. 2 (2): 104-109.
- McNair, H.M. dan Bonelli, E.J. 1998. *Dasar Kromatografi Gas*. Penerbit ITB Bandung. Diterjemahkan Oleh Padmawinata, K. Bandung. Hlm. 173.
- Merdhah, A.B.B. and Yassin, A.A.M. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *Journal of A Hallied Sciences*. 7 (17): 2393-2403.
- Muryanto, S., Bayuseno, A.P., Ma'mun, and Usamah, M. 2014. Calcium Carbonate Scale Formation in Pipes: Effect of Flow Rates, Temperature, and Malic Acid as Additives. *Procedia Chemistry*. 9: 69-76.
- Nebel, H. and Epple, M. 2008. Continuous Preparation of Calcite, Aragonite and Vaterite, and Magnesium-Substituted Amorphous Calcium Carbonate (Mg-ACC). *Zeitschrift fur Anorganische und Allgemeine Chemie*. 634: 1439-1443.

- Ngadiwiyana, Ismiyanto, dan Purbowatiningrum. R.S. 2017. Reduksi Sinamaldoksim Menggunakan Sistem Katalis Zn/NH<sub>4</sub>Cl. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 10 (1): 1-6.
- Nunn, R.G. 1997. *Water Treatment Essentials for Boiler Plant Operation*. 1<sup>st</sup> Edition. Mc Graw Hill. New York. Pp. 200-205.
- Patton, C. 1981. *Oilfield Water System*. Campbell Petroleum Series. 2<sup>nd</sup> Edition. Oklahoma. Pp. 49-79.
- Pavia, D.L. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques*. 4<sup>th</sup> Edition. Brooks Cole/Thomson. United State. p. 990.
- Putnam, P., Bombick, D.W., Avalos, J.T. and Doolittle, D.J. 1999. Comparison of The Cytotoxic and Mutagenic Potential of Liquid Smoke Food Flavouring, Cigarette Smoke Condensate and Wood Smoke Condensate. *Food and Chemical Toxicology*. 37: 1113-1118.
- Pszczola, D.E. 1995. Tour Highlights Production and Uses of Smoke-Based Flavors. *Food Technology*. 49 (1): 70-74.
- Ratnaningsih, D. 2000. *Pengetahuan Umum Tentang Kromatografi Gas Spektrometri Massa (GC-MS)*. Pusat Pedal-Bapedal. Jakarta. Hlm. 78.
- Rini, H.U. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO<sub>4</sub>). (Tesis). Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung. Hlm. 89.
- Reinecke, F., Groth, T., Heise, K.P., Joentgen, W., Müller, N., and Steinbüchel, A. 2000. Isolation and Characterization of an Achromobacter Xylooxidans Strain B3 and Other Bacteria Capable to Degrade The Synthetic Chelating Agent Iminodisuccinate. *FEMS Microbiology Letters*. 188: 41-46.
- Salimin, Z. dan Gunandjar. 2007. *Penggunaan EDTA sebagai Pencegah Timbulnya Kerak pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair*. Prosiding PPI-PDIPTN. Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN. Yogyakarta. Hlm. 1-8.
- Santoso, R.S. 2015. Asap Cair Sabut Kelapa sebagai Repelan Bagi Hama Padi Walang Sangit (*Leptocorisa oratorius*). *Jurnal Sains Matematika dan Pembelajarannya*. 4 (2): 81-86.
- Sastrohamidjojo, H. 2002. *Spektroskopi*. Edisi Kedua. Liberty Yogyakarta. Yogyakarta. Hlm. 35-36.

- Setiososari, E. 2017. Studi Penggunaan Asap Cair sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) Menggunakan Metode *Seeded Experiment*. (Skripsi). Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Lampung. Lampung. Hlm. 48-51.
- Sitorus, M. 2009. *Spektroskopi: Elusidasi Struktur Molekul Organik*. Graha Ilmu. Yogyakarta. Hlm. 96.
- Skoog, D.A., Holler, F.J., and Crouch, S.R. 2007. *Principles of Instrumental Analysis*. 6<sup>th</sup> Edition. Brooks Cole/Thomson. United State. p. 461.
- Smallman, R.E. 1991. *Metalurgi Fisik Modern*. Edisi Keempat. Diterjemahkan Oleh Djaprie, S., Arifin, B., dan Myrna, A. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. Hlm. 55.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Edisi Keenam. Diterjemahkan Oleh Djaprie, S. Erlangga. Jakarta. Hlm. 473.
- Sri, R.I. dan Sembiring, M.P. 2012. Pengaruh Konsentrasi Inhibitor Ekstrak Daun Gambir dengan Pelarut Etanol-Air Terhadap Laju Korosi Besi pada Air Laut. *Jurnal Riset Kimia*. 5 (2). 165-174.
- Stamatakis, C., Chatzichristos, E., Sagen, J., Stubos, A., Palyvos, I., Muller, J., 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.
- Suharso, Buhani, Suhartati, T., dan Aprilia, L. 2007. Sintesis C-Metil-4, 10, 16, 22-Tetrametoksi Kaliks [4] Arena dan Peranannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). *Laporan Akhir Program Insentif*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Hlm. 206-210.
- Suharso, Buhani, and Suhartati, T. 2009. The Role of C-Methyl-4,10,16,22-Tetrametoxy Calix[4]Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Scale Formation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9 (2): 206-210.
- Suharso, Buhani, Bahri, S., and Endaryanto, T. 2010. The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ) Scale Formation. *Asian Journal of Research in 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. 2012. Characterization of Surface of the (100) Face of Borax Crystals Using Atomic Force Microscopy (AFM): Dislocation Source Structure and Growth Hillocks. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 11 (2): 105-110.
- Suharso. 2012a. Ex Situ Investigation of the Hollow Cores on the Surface Topography of the (100) Face of Borax Crystals by Atomic Force Microscopy (AFM). *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 12 (1): 31-35.
- Suharso dan Buhani. 2012. *Penanggulangan Kerak*. Edisi Pertama. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Lampung. Hlm. 120.
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix[4]arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. 26 (18): 6155.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulangan Kerak*. Edisi Kedua. Graha Ilmu. Yogyakarta. Hlm. 91.
- Suharso, Reno, T., Endaryanto, T., and Buhani. 2017. Modification of Gambier Extracts as Green Inhibitor of Calcium Carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering*. 18: 1-6.
- 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.
- Sutater, T., Sucianti, dan Tejasarwana, R. 1998. *Serbuk Sabut Kelapa sebagai Media Tanam Krisan*. Konferensi Nasional Kelapa. Modernisasi Usaha Pertanian Berbasis Kelapa. Bandar Lampung. Hlm. 23.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Edisi Kelima. Diterjemahkan Oleh Setiono, L. dan Pudjaatmaka, A.H. PT Kalman Media Pustaka. Jakarta. Hlm. 656.
- Totoki, S., Wada, Y.N. M., and Shimaoka, H. 2007. DEP Active Grating Method: A New Approach for Size Analysis of Nano-Sized Particles. *Shimadzu Review*. 62: 173-179.
- Wafiroh, S. 1995. *Pemurnian Garam Rakyat dengan Kristalisasi Bertingkat*. *Laporan Penelitian*. Universitas Airlangga. Surabaya. Hlm. 37.
- Wang, J., Li, Z., Gao, X., and Wang, Y. 2015.  $\text{CaCO}_3$  Scaling of Oilfield Produced Water in "Electrochemical Pre-Oxidation-Coagulation Sedimentation-Filtration" Process: Reason, Mechanism, and Countermeasure. *Desalination and Water Treatment* 57 (27): 1-9.

- Wang, L., Yin, G.J., and Yin, J.G. 2001. 2-Mercaptothiazoline and Cetylpyridinium Chloride as Inhibitors for The Corrosion of a Low Carbon Steel in Phosphoric Acid. *Corrosion*. 43: 1197-1202.
- Webb, P.A. 2002. *Interpretation of Particle Size Reported by Different Analytical Technique*. Diakses melalui [www.micromeritics.com](http://www.micromeritics.com). Pada 9 November 2018.
- Weijnen, M.P.C., Marcheidan W.G.J., Van Rosmalen, G.M. 1983. A Quantification of the Effectiveness on an Inhibitor on The Growth Process of a Scalant. *Desalination*. 47: 81-92.
- Yao, C.L., Qi, C.X., Zhu, J.M., Xu, W.H. 2010. Unusual Morphology of Calcium Carbonate Controlled by Amino Acids in Agarose Gel. *Journal of The Chilean Chemical Society*. 55: 270-273.
- Yulistiani, R. 1997. Kemampuan Penghambatan Asap Cair Terhadap Pertumbuhan Bakteri Pathogen dan Perusak pada Lidah Sapi. (Tesis). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Hlm. 72.
- Zaitsev, I., Kizeveter, I., Lacunov, L., Makarova T., Mineer, L., and Podsevalor, V. 1969. *Fish Curing and Processing*. 1<sup>st</sup> Edition. Mir Publishers. Moskow. p. 327.
- Zeihner, E.H.K., Bosco H., and Williams, K.D. 2003. Novel Antiscalant Dosing Control. *Desalination*. 157: 209-216.
- Zhang, J.Y., Zhang, P.X., and Lin, R.Y. 2002. Nucleation and Growth Kinetics in Synthesizing Nanometer Calcite. *Journal of Crystal Growth*. 245: 309-320.