

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH KELAPA SAWIT
SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO₃)
MENGUNAKAN METODE *UNSEDED EXPERIMENT***

(Skripsi)

Oleh

AYUDINA RAHMAWATI



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

ABSTRAK

STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIMUM KARBONAT (CaCO_3) MENGUNAKAN METODE *UNSEEDED EXPERIMENT*

Oleh

Ayudina Rahmawati

Produksi kelapa sawit di Indonesia meningkat setiap tahunnya, sehingga disisi lain akan menyebabkan limbah yang sangat besar dan akan mencemari lingkungan jika limbah tidak dimanfaatkan secara maksimal. Salah satu jenis limbah kelapa sawit adalah pelepah kelapa sawit. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, limbah pelepah kelapa sawit dapat diolah menjadi produk yang tidak menimbulkan pencemaran lingkungan dan bernilai ekonomi lebih tinggi yaitu menjadi asap cair. Asap cair didapatkan dari hasil pirolisis pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon serta senyawa-senyawa lain. Diketahui senyawa-senyawa tersebut dapat digunakan untuk menanggulangi permasalahan kerak. Terbentuknya kerak (*scaling*) merupakan masalah yang cukup serius dan sering timbul dalam dunia industri. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan asap cair pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor kerak CaCO_3 yang ramah lingkungan menggunakan suhu $90\text{ }^\circ\text{C}$. Larutan pertumbuhan CaCO_3 yang digunakan yaitu 0,0250; 0,0375; 0,0500 dan 0,0625 M serta variasi inhibitor sebesar 5, 15, 25 dan 35 %. Nilai persen efektivitas tertinggi terjadi pada konsentrasi 0,0250 M dengan penambahan inhibitor sebesar 35 % yaitu sebesar 97,36 %. Berdasarkan hasil SEM dan XRD menunjukkan kerak CaCO_3 tanpa inhibitor terdiri dari kristal fasa kalsit dan aragonit, sedangkan setelah penambahan inhibitor terdiri dari kristal fasa vaterit dan kalsit (yang rapuh). Analisis kuantitatif menggunakan PSA menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3 mengalami penurunan setelah ditambahkan inhibitor dapat dilihat dari rata-rata (*mean*) yaitu dari 10,00 menjadi 6,522 μm dan nilai tengah (*median*) yaitu dari 9,35 menjadi 6,071 μm . Berdasarkan pengamatan kualitatif dan kuantitatif dapat disimpulkan bahwa asap cair pelepah kelapa sawit mampu menginhibisi kerak kalsium karbonat dengan persentase efektivitas inhibitor sebesar 97,36 %.

Kata kunci : Asap cair, inhibitor, CaCO_3 , kerak.

ABSTRACT

A STUDY ON THE ADDITION OF OIL PALM FRONDS LIQUID SMOKE AS CALCIUM CARBONATE SCALE INHIBITOR USING THE UNSEEDED EXPERIMENT METHOD

By

Ayudina Rahmawati

The growth of palm oil production in Indonesia always go up every year, but on the other hand it will cause a major waste which pollute the environment if it is not being used maximally. Along with the development of science and technology, oil palm fronds can be processed into products that do not cause an environmental pollution and have a higher economic value, which is liquid smoke. Liquid smoke was obtained from the pyrolysis of indirect and direct combustion from materials that contain a lot of carbon and other compounds. It is known that these compounds could be the solution to overcome the scaling problem. Scaling is a serious problem that often discovered in the industrial company. To overcome this problem, this study used oil palm frond liquid smoke as an environmentally friendly CaCO_3 scale inhibitor using temperature of $90\text{ }^\circ\text{C}$. Then, the growth of CaCO_3 solution used was 0.0250; 0.0375; 0.0500 and 0.0625 M respectively and the variation of inhibitors were by 5, 15, 25 and 35%. The highest percent value of effectiveness occurred at the concentration of 0.0250 M with the addition of inhibitor as much as 35% which equals to 97.36%. According to the results of Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD), the CaCO_3 scale without inhibitors consists of calcite and aragonite phase crystals, whereas after the addition of inhibitor consists of vaterite and calcite (fragile) phase crystals. Quantitative analysis using Particle Size Analyzer (PSA) showed that the CaCO_3 crystal particle size distribution decreased after adding the inhibitor which could be seen from the mean started from 10.00 to 6.522 μm and the median value from 9.35 to 6,071 μm . Based on the quantitative and qualitative analysis, it can be concluded that the research was succeed with the inhibitory percentage of 97,36 %.

Keywords : Liquid smoke, inhibitors, CaCO_3 , scale.

**STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH KELAPA SAWIT
SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO_3)
MENGUNAKAN METODE *UNSEDED EXPERIMENT***

Oleh

Ayudina Rahmawati

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS

pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

Judul Skripsi : **STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH
KELAPA SAWIT SEBAGAI INHIBITOR
KERAK KALSIUM KARBONAT (CaCO₃)
MENGUNAKAN METODE *UNSEEDED
EXPERIMENT***

Nama Mahasiswa : *Ayudina Rahmawati*

No. Pokok Mahasiswa : 1517011034

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

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

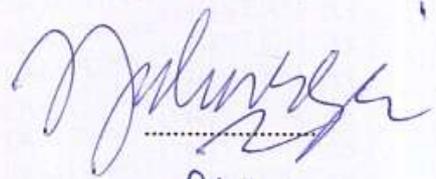
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono
Dr. Eng. Suropto 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. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.** /



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**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ayudina Rahmawati
Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011034
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "Studi Penambahan Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*" adalah benar karya 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, 25 September 2019

Menyatakan

Ayudina Rahmawati
NPM 1517011034

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Ayudina Rahmawati dilahirkan pada tanggal 25 Februari 1997 di *Medical Clinic* PT. Gula Putih Mataram, Kecamatan Seputih Mataram, Kabupaten Lampung Tengah. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Nurkolis dan Ibu Herawati. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK

Abadi Perkasa pada tahun 2003, lalu melanjutkan ke SD Abadi Perkasa lulus pada tahun 2009, kemudian melanjutkan ke SMP Abadi Perkasa lulus pada tahun 2012, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMA Sugar Group pada tahun 2015.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) atau yang biasa disebut sebagai jalur undangan. Selama menjadi mahasiswa, penulis mendapatkan beasiswa dan ikatan dinas dari PT Sugar Group Companies. Penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Dasar I angkatan 2018 tahun 2018 dan asisten praktikum mata kuliah Kimia Dasar II angkatan 2018 tahun 2019. Penulis mengikuti organisasi menjadi GARUDA Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA pada tahun 2015. Penulis juga pernah menjadi anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia

(SPIK) Himaki FMIPA Unila periode 2017-2018. Tahun 2018, penulis menyelesaikan kerja praktik dengan judul “Studi Penambahan Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*” di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Tiyuh Terang Mulya, Kecamatan Gunung Terang, Kabupaten Tulang Bawang Tengah pada bulan Juli-Agustus 2018.

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ayudina Rahmawati
Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011034
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul “Studi Penambahan Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*” adalah benar karya 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, 25 September 2019
Menyatakan

Ayudina Rahmawati
NPM 1517011034

MOTTO

Menuntut ilmu adalah wajib setiap muslim (HR. Ibnu Majah no. 224)

“Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibumu dalam keadaan tidak mengetahui sesuatupun, dan Dia memberi kamu pendengaran, penglihatan dan hati agar kamu bersyukur (QS. An-Nahl, 78)

Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap (QS.

Al-Insyirah,6-8)

Allah akan mengangkat derajat orang-orang yang beriman dan orang-orang yang berilmu diantara kamu sekalian (QS. Al-Mujadilah:11)

Ilmu pengetahuan tanpa agama lumpuh, agama tanpa ilmu pengetahuan buta (Albert Einstein)

Barang siapa menempuh jalan dengan tujuan untuk menuntut ilmu, niscaya Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga (HR Muslim)

**BERILMU sebelum
BERKATA dan
BERAMAL (Imam Bukhari)**

Setiap kamu punya mimpi atau keinginan atau cita-cita, kamu taruh disini, di depan kening kamu. Biarkan dia **MENGGANTUNG, MENGAMBANG 5 cm** di depn kening kamu jadi dia tidak akan pernah lepas dari mata kamu (Donny Dhirgantoro, 5 cm)

Kemudian yang kamu perlukan hanyalah kaki yang akan melangkah lebih jauh, tangan yang akan berbuat lebih banyak, mata yang akan melihat lebih lama, leher yang akan sering mendongak, tekad yang setebal baja dan hati yang akan bekerja lebih keras serta mulut yang selalu berdoa (Donny Dhirgantoro, 5 cm)

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan segala bentuk rahmat, hidayah dan ridho-Nya yang tiada habisnya. Shalawat serta salam teruntuk Nabi Muhammad SAW. Berbekal pengetahuan dan pengalaman yang telah diperoleh, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Studi Penambahan Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*”**, sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis telah dibantu oleh berbagai pihak dalam menyelesaikan skripsi ini, oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua Penulis, Bapak Nurkolis dan Ibu Herawati yang selalu memberikan motivasi, nasihat, kasih sayang, dukungan, kerja keras dan doa yang selalu diberikan kepada penulis. Bapak mamak terimakasih atas semuanya yang tidak bisa ayu ucapkan satu persatu, tanpa doa dan dukungan kalian ayu bukanlah apa-apa. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan dan memberikan kebahagiaan baik di dunia maupun di akhirat. Aamiin.

2. Adikku Ajibaskara Hadi Pamungkas, terimakasih sudah memotivasi mbakmu ini untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Suharso, Ph.D. selaku pembimbing I dan sekaligus pembimbing akademik, penulis mengucapkan terima kasih karena sudah membimbing penulis selama 4 tahun ini.
4. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si. selaku pembimbing II, terimakasih ibu sudah senantiasa sabar membimbing ayu dalam menyusun kata demi kata dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Wasinton Simanjutak, Ph.D. selaku penguji, terimakasih bapak atas masukan-masukannya.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Unila terimakasih atas seluruh ilmu, bimbingan dan pengalaman yang telah diberikan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, 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.

9. Aco's Research 2015 : Widya Ekasari, Sri Budi Asih, Alifa Dyah Savira, Nadya Syarifatul Fajriyah dan Tri Patmasari. Terimakasih atas waktu, semangat, motivasi, dukungan dan segalanya dalam menyelesaikan skripsi ini. *See you on top girls!*
10. Terimakasih untuk calon tetangga masa depanku : Eka Fitriana dan Aprilia, yang memberikan penulis motivasi, dukungan, doa dan segalanya yang tidak bisa penulis sebutkan disini, terimakasih telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Home sweet home : Annie Widya Subagya, Galleh Saputri, Nurmala, Retno Ningsih, Banan Corima Adha, Sri Mulyaningsih, Fitri Nadia Silvani atas dukungannya dalam mengerjakan skripsi ini.
12. Zombie Squad : Eka Fitriana, Annisa Tri Agustin, Fauliya Riyanti dan M. Tri Jatmiko. Terimakasih karena telah membantu penulis menyelesaikan kuliah sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
13. Lab anorganik/fisik : Widya Ekasari, Sri Budi Asih, Alifa Dyah Savira, Nadya Syarifatul Fajriyah, Tri Patmasari, Eka Fitriana, Rifka Amalia, Desi Nurjanah, Putri Nursela, Ella Gita Silviana, Tri Agus Wijayanti, Ade Rika Nuralita, Miranda Sari, Siti Nur Aini, Tri Handayani Surya Ningsih, Desy Permata Sari, Reni Wulandari, Lia Septiani, Dinda Sefta Firguna, Annisa Tri Agustin, Risyda Umami, Tri Julianti, Dwi Saraswati Luthfi, Naina Purnama Sari, Asti Dwi Rimawanti, Sri Lestari, Mona Dwi Fenska, Hani Maryuli dan Rama Aji Wijaya.

14. Kakak scale 2014 : Yusuf Hadi Kurniawan, Audina Uci Pertiwi, Reni Anggraeni, Hafid Darmais Halan dan Fikri Muhammad. Terimakasih untuk kakak-kakak atas bimbingan dan arahnya selama ini.
15. Adek scale 16 : Deni Setiawan, Yolanda Apriana VJ, Amanda Sasya J dan Annisa Apriliana. Adik-adik terimakasih ya sudah menyemangati penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Segenap keluargaku selama 4 tahun ini : Chem15try.
17. Teman-teman alumni SD-SMP Abadi Perkasa yang juga tetangga di kebun tebu tercinta : Puspa Anggraini Sukoco, Putri Mirinda Dwi Damayanti, Sela Yunita, Hikmawati Arizki Lubis. Terimakasih atas dukungannya.
18. Scholars 2015 : Galleh Saputri, Nurmala, Dominicus Wahyu Aji Nugraha, Mellynda Septiana Sari, Dea Prahesti Sari, Banan Corima Adha, Clara Anggerwati, Annes Rani Marshelia, Vivi Fina Khulsum, Siti Meri Pipi Apriliani, Shinta Devi Wulandari, Setia Febriana Lestari, Putri Eka Sofyana.
19. Terimakasih buat mbak Nova Tri Irianti, yang telah memberikan dukungan, semangat untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
20. Teman makan-makan : Nurmala, Annisa Dila Febriyanti, Fitri Sunarsih, Tri Handayani Surya Ningsih, Siti Nur Aini.
21. *Special for* Bagus Risdianto terimakasih atas dukungan, semangat, motivasi dan waktu yang telah diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi

ini. Terimakasih sudah menemani penulis ketika harus lembur di laboratorium. *I love you 3000.*

22. Almamter tercinta Universitas Lampung.

23. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala ketulusan, bantuan dan doa. Semoga kebaikannya mendapat balasan dari Allah SWT.

Bandar Lampung, 25 September 2019

Penulis,

Ayudina Rahmawati

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang dan Masalah	1
B. Tujuan.....	5
C. Manfaat.....	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Limbah Kelapa Sawit	7
B. Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit.....	8
C. Kerak	9
D. Kalsium Karbonat (CaCO ₃)	12
E. Mekanisme Pembentukan Kerak.....	15
F. Faktor Pembentuk Kerak.....	19
G. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak CaCO ₃	20
H. Mekanisme Kerja Inhibitor	22
I. Analisis Menggunakan XRD	29
J. Analisis Menggunakan GC-MS	33
K. Analisis Menggunakan SEM.....	36
L. Analisis Menggunakan PSA.....	40
M. Analisis Menggunakan FT-IR.....	43
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat	44
B. Alat dan Bahan	45
C. Metode.....	45
1. Pembuatan Inhibitor	45
2. Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaCO ₃	46
D. Pengamatan	48
E. Diagram Alir Penelitian	48
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Analisis Gugus Fungsi Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan FT-IR.....	50

B. Analisis Komponen Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit Menggunakan GC-MS	53
C. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	56
D. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	59
1. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaCO_3 dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,0250 M	60
2. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaCO_3 dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,0375 M	62
3. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaCO_3 dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,0500 M	64
4. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaCO_3 dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,0625 M	66
E. Perbandingan Larutan Pertumbuhan Kristal Kalsium Karbonat	68
F. Identifikasi Struktur Kerak CaCO_3 Menggunakan XRD	70
G. Analisis Perubahan Morfologi Kerak CaCO_3 Menggunakan SEM	73
H. Analisis Distribusi Ukuran Partikel CaCO_3 dengan PSA	75
V. SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	80
B. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	89

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan senyawa utama pada asap cair pelepah sawit hasil pirolisis.....	8
2. Pita serapan hasil analisis FT-IR asap cair pelepah kelapa sawit	52
3. Perbandingan komponen senyawa kimia asap cair pelepah kelapa sawit	55
4. Nilai pH larutan CaCO_3 dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan.....	57
5. Nilai pH berbagai konsentrasi inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit.....	59
6. Data persentase efektivitas berbagai konsentrasi inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0250 M	61
7. Data persentase efektivitas berbagai konsentrasi inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0375 M	64
8. Data persentase efektivitas berbagai konsentrasi inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0500 M	65
9. Data persentase efektivitas berbagai konsentrasi inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0625 M	67
10. Data persentase efektivitas inhibitor pada penambahan inhibitor 35 %	67
11. Data puncak 2θ kerak CaCO_3 tanpa inhibitor	71
12. Data puncak 2θ kerak CaCO_3 dengan inhibitor	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Representasi skematik proses pertukaran panas pada pipa	10
2. Kerak CaCO_3 dalam pipa industri.....	11
3. Nukleasi homogen	16
4. Nukleasi heterogen.....	17
5. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak	18
6. Mekanisme pencegahan kerak dengan penghambatan ambang atas.....	26
7. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal.....	27
8. Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer	29
9. Difraktogram sinar-x dan 2θ standar dari CaCO_3 fasa kalsit.....	30
10. Difraktogram sinar-x dan 2θ standar dari CaCO_3 fasa aragonit.....	30
11. Difraktogram sinar-x dan 2θ standar dari CaCO_3 fasa vaterit	31
12. Skema kerja alat XRD.....	32
13. Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD.....	33
14. Instrumentasi GC-MS	35
15. Skema bagan SEM	37
16. Mikrograf kerak CaCO_3 (a) tanpa (b) dengan penambahan inhibitor.....	39

17. Skema alat PSA.....	41
18. Distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3	42
19. Skema kerja FT-IR.....	43
20. Diagram alir penelitian.....	49
21. Spektrum hasil analisis FT-IR asap cair pelepah kelapa sawit	51
22. Kromatogram hasil analisis GC-MS asap cair pelepah kelapa sawit.....	53
23. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan	58
24. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0250 M.....	61
25. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0375 M.....	63
26. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0500 M.....	64
27. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kerak CaCO_3 dengan konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0625 M.....	66
28. Perbandingan larutan pertumbuhan 0,0250 M (a) tanpa (b) dengan penambahan inhibitor.....	69
29. Kristal kerak CaCO_3 0,0250 M (a) tanpa (b) dengan penambahan inhibitor..	69
30. Difraktogram CaCO_3 hasil analisis XRD dengan dan tanpa inhibitor.....	70
31. Mikrograf kerak CaCO_3 pada konsentrasi larutan pertumbuhan	74
32. Hasil analisis distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3	76
33. Mekanisme penghambatan kerak CaCO_3 oleh inhibitor.....	78
34. Mekanisme anti kerak	79

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang dan Masalah

Kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan produksi dari tahun ke tahun. Produksi kelapa sawit pada tahun 2013 sebesar 17,77 juta ton dan terus meningkat setiap tahunnya menjadi 34,46 juta ton pada tahun 2017 (Badan Pusat Statistik, 2018). Sejalan dengan semakin meningkatnya produksi kelapa sawit dari tahun ke tahun, disisi lain akan menyebabkan limbah yang sangat besar. Limbah kelapa sawit dapat berupa tandan kosong, batang, cangkang dan pelepah.

Limbah pelepah kelapa sawit ada dalam jumlah yang banyak dimana pada satu hektar tanaman kelapa sawit menghasilkan pelepah daun dengan bobot kering sebesar 14,47 ton per tahun (Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian, 2006). Jika limbah tersebut tidak dimanfaatkan dengan baik akan mencemari lingkungan, karena mengandung bahan-bahan organik yang tinggi seperti hemiselulosa 33,52; selulosa 38,52; lignin 20,36; zat ekstraktif 3,68 dan abu 3,92 %. (Khor *et al.*, 2009). Berdasarkan komponen-komponen kimia tersebut, pembakaran dan penumpukan bukan merupakan metode yang tepat dan efektif karena akan mencemari lingkungan. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, maka limbah pelepah kelapa sawit dapat diolah menjadi produk yang

ramah terhadap lingkungan (Haji, 2013) dan bernilai ekonomi lebih tinggi yaitu menjadi asap cair (Saukani dkk., 2017).

Asap cair didapatkan dari hasil pirolisis pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon serta senyawa-senyawa lain. Komponen utama dalam reaksi pengasapan hanya tiga jenis senyawa, yaitu asam, fenol dan karbonil (Hollenbeck, 1977). Diketahui kandungan utama yang terdapat dalam asap cair pelepah kelapa sawit antara lain yaitu asam asetat sebesar 52,19; fenol 10,96; karbonil 22,32 dan ester 7,8 % (Rahmalinda dkk., 2014). Asap cair mengandung senyawa fenol dan asam-asam organik yang dapat mengikat logam Ca^{2+} (Irianty dan Sembiring, 2012).

Kerak (*scale*) merupakan deposit keras dari senyawa-senyawa anorganik yang terjadi pada permukaan peralatan penukar panas dan disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan, sehingga terbentuklah kristal (Asnawati, 2001). Pembentukan kerak terjadi dalam suatu aliran yang mengandung garam, jika mengalami penurunan tekanan dan temperatur secara tiba-tiba maka aliran tersebut akan menjadi lewat jenuh dan menyebabkan penumpukan endapan garam pada dinding-dinding peralatan industri. Salah satu endapan garam yang terbentuk yaitu kalsium karbonat (Amjad, 1988).

Pembentukan kerak pada pipa-pipa peralatan industri akan memperkecil diameter sehingga dapat menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Oleh sebab itu, kemungkinan pipa akan pecah juga semakin tinggi (Asnawati, 2001).

Terbentuknya kerak (*scaling*) merupakan masalah yang cukup serius dan sering timbul dalam dunia industri. Pembentukan kerak umumnya terjadi pada peralatan-peralatan industri, seperti industri yang melibatkan proses destilasi, industri yang menggunakan ketel, industri kimia, gas serta minyak (Badr and Yassin, 2007; Lestari dkk., 2004; Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2011; Suharso dkk., 2013; Suharso dan Buhani, 2015; Suharso dkk., 2015; Suharso *et al.*, 2017a; Suharso *et al.*, 2017b). Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa peralatan industri ini sangat mengganggu dan menghambat proses produksi. Bahkan mengakibatkan inefisiensi waktu dan dana, karena sebagian besar biaya perawatan alat ditujukan untuk mengganti atau memperbaiki komponen yang rusak akibat penumpukan kerak. Salah satu contoh adalah perusahaan minyak Indonesia (Pertamina, Tbk) yang menghabiskan 6-7 juta dolar atau setara dengan Rp 70-90 milyar untuk mengganti setiap pipa pada bagian geotermal setiap 10 tahun dalam mengatasi masalah kerak (Suharso *et al.*, 2017a).

Metode yang dapat dilakukan untuk mengontrol pembentukan kerak antara lain dengan cara pembebasan mineral air (Lestari, 2008), akan tetapi penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang cukup mahal (Nunn, 1997). Metode lain yang dapat dilakukan yaitu dengan cara pengendalian pH (Suharso dan Buhani, 2015). Pengendalian pH dilakukan dengan menginjeksikan asam (asam sulfat atau asam klorida). Penghilangan kerak menggunakan asam dengan konsentrasi tinggi juga tidak efektif karena dapat meningkatkan laju korosi dan konduktivitas, serta mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya (Lestari, 2008).

Berdasarkan kelemahan pada beberapa metode di atas, Suharso *et al.* (2007) telah mengembangkan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi laju pertumbuhan kerak. Caranya yaitu dengan menginjeksikan bahan-bahan kimia pencegah kerak (*scale inhibitor*) ke dalam air yang akan digunakan pada proses industri. Selanjutnya diduga komponen-komponen penyusun kerak ikut larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar serta dapat mencegah kristal melekat pada permukaan pipa (Asnawati, 2001). Inhibitor kerak sendiri merupakan suatu zat yang dapat menghentikan atau mencegah terbentuknya kerak (Halimatuddahlia, 2003). Metode inhibitor ini merupakan metode yang menarik untuk dikembangkan lebih lanjut, karena inhibitor ini memiliki efektivitas yang tinggi (Asnawati, 2001), dapat mencegah terbentuknya kerak dalam periode yang lama (Cowan and Weinttritt, 1976) serta biayanya relatif murah jika dibandingkan dengan metode lainnya.

Adapun faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inhibitor kerak adalah keefektifan, kestabilan, kecocokan, biaya serta bersifat *biodegradable*. Sifat dari inhibitor kerak yang sangat diharapkan yaitu stabil dalam air, dapat digunakan dalam jangka waktu panjang serta dapat digunakan pada temperatur tinggi (Cowan and Weinttritt, 1976). Inhibitor kerak pada umumnya dibagi menjadi dua macam yaitu inhibitor kerak organik dan anorganik. Namun, inhibitor kerak anorganik bersifat berbahaya, mahal dan tidak ramah lingkungan sehingga digunakan inhibitor kerak organik yang mudah diperoleh dan bersifat *biodegradable* (Irianty dan Komalasari, 2013).

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini telah dipelajari penggunaan asap cair pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor untuk menanggulangi kerak kalsium karbonat. Efektivitas inhibitor kerak dipelajari pada berbagai konsentrasi inhibitor dan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan. Metode yang digunakan untuk mengetahui efektivitas inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit dalam menghambat pertumbuhan kerak dalam penelitian ini menggunakan metode *unseeded experiment*, yaitu salah satu metode pembentukan kristal tanpa penambahan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan kerak CaCO_3 . Analisis data serta karakterisasi morfologi permukaan CaCO_3 menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), struktur kristal CaCO_3 menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan distribusi ukuran partikel CaCO_3 menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) sedangkan analisis gugus fungsi dari asap cair menggunakan *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR) dan analisis komponen senyawa kimia dari asap cair menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS).

B. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan masalah yang dipaparkan di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan beberapa tujuan spesifik yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui keefektifan asap cair pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor kerak kalsium karbonat (CaCO_3) menggunakan metode *unseeded experiment* melalui analisis data serta karakterisasi morfologi permukaan CaCO_3 menggunakan SEM, struktur kristal CaCO_3 menggunakan XRD dan distribusi ukuran partikel CaCO_3 menggunakan PSA sedangkan analisis gugus fungsi

dari asap cair menggunakan FT-IR dan analisis komponen senyawa kimia dari asap cair menggunakan GC-MS.

2. Mempelajari pengaruh berbagai konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor asap cair terhadap pertumbuhan kerak kalsium karbonat (CaCO_3).

C. Manfaat

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai kemampuan asap cair pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) sehingga dapat dikembangkan sebagai inhibitor yang efektif.
2. Memberikan informasi mengenai berbagai pengaruh konsentrasi larutan pertumbuhan dan inhibitor asap cair.
3. Memberikan nilai guna pada limbah kelapa sawit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Limbah Kelapa Sawit

Umumnya limbah padat industri kelapa sawit mengandung bahan organik yang tinggi sehingga berdampak pada pencemaran lingkungan apabila tidak diproses lebih lanjut. Menurut Khor *et al.* (2009) limbah padat kelapa sawit mengandung hemiselulosa 33,52; selulosa 38,52; lignin 20,36; zat ekstraktif 3,68 dan abu sebesar 3,92 %. Berdasarkan komponen-komponen kimia tersebut, penumpukan dan pembakaran bukan merupakan metode yang tepat dan efektif untuk menangani permasalahan limbah padat kelapa sawit. Salah satu metode alternatif yang dapat menjadi solusi bagi penanganan permasalahan limbah padat kelapa sawit ialah dengan teknik pirolisis (Haji, 2013).

Pirolisis didefinisikan sebagai proses dekomposisi suatu bahan oleh panas tanpa menggunakan oksigen yang diawali oleh pembakaran dan gasifikasi, serta diikuti oksidasi total atau parsial dari produk utama (Bridgwater, 1998). Menurut Demirbas (2005) pirolisis merupakan proses pemanasan tanpa kehadiran oksigen yang mendegradasi suatu biomassa menjadi arang, tar dan gas. Melalui teknik pirolisis, limbah padat kelapa sawit dapat diolah secara cepat menghasilkan produk berupa arang dan asap. Asap yang dikeluarkan dapat dicairkan menjadi

destilat (asap cair) dengan menggunakan kondensor sehingga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan (Pszczola, 1995).

B. Asap Cair Pelelah Kelapa Sawit

Asap cair didefinisikan sebagai cairan kondensat dari asap kayu yang telah mengalami penyimpanan dan penyaringan untuk memisahkan tar dan bahan tertentu (Pszczola, 1995). Komponen utama dalam reaksi pengasapan hanya tiga senyawa, yaitu asam, fenol dan karbonil (Hollenbeck, 1977). Komposisi asap cair dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah jenis kayu, kadar air dan suhu pembakaran yang digunakan (Asmawit dan Hidayati, 2016). Adapun kandungan senyawa utama pada asap cair pelelah kelapa sawit hasil pirolisis menurut Rahmalinda dkk. (2014) disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Senyawa Utama pada Asap Cair Pelelah Kelapa Sawit Hasil Pirolisis

No.	Nama Senyawa	Rumus Molekul	Jumlah Relatif (%)
1.	Asam asetat	$C_2H_4O_2$	52,19
2.	2-propanon	C_3H_6O	3,35
3.	1-hidroksi-2-propanon	$C_3H_6O_2$	2,68
4.	3-metilbutanal	$C_5H_{10}O$	4,35
5.	3-etoksi-propanal	$C_5H_{10}O_2$	1,78
6.	2-furfural	$C_5H_4O_2$	5,98
7.	5-(hidroksimetil)-2-furfural	$C_6H_6O_3$	4,18
8.	Fenol	C_6H_6O	9,12
9.	2,6-dimetoksifenol (siringol)	$C_8H_{10}O_3$	1,84
10.	Vinil format	$C_3H_4O_2$	7,8

(Sumber : Rahmalinda dkk., 2014)

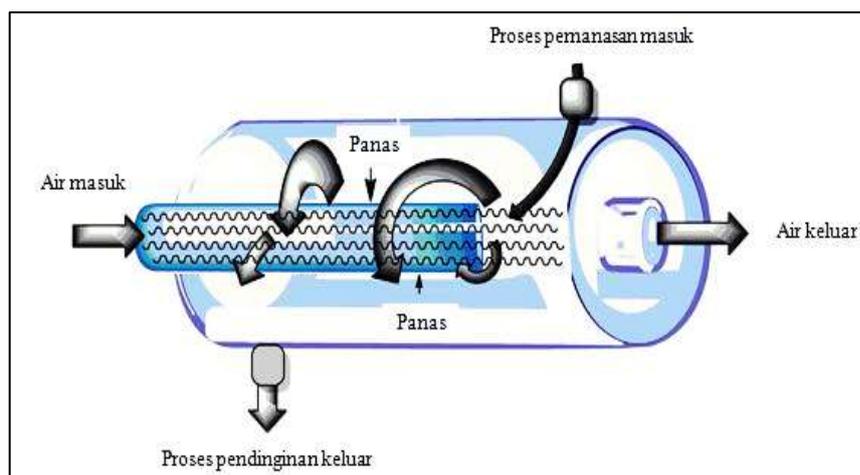
C. Kerak

Penggunaan pipa-pipa pada bidang industri sebagai media perpindahan bahan atau zat merupakan hal yang umum, salah satu masalah yang timbul pada pipa-pipa tersebut adalah terbentuknya kerak yang dapat menyumbat pipa tersebut seperti pada Gambar 2. Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kemmer, 1979). Komponen khas kerak yang sering dijumpai adalah sebagai berikut:

1. Kalsium sulfat;
2. Kalsium karbonat (CaCO_3 ; turunan dari kalsium bikarbonat);
3. Kalsium dan seng fosfat;
4. Kalsium fosfat, sejumlah besar kalsium dan ortofosfat;
5. Silika dengan konsentrasi tinggi;
6. Besi dioksida, senyawa yang disebabkan oleh kurangnya kontrol korosi atau alami berasal dari besi yang teroksidasi;
7. Besi fosfat, senyawa yang disebabkan karena pembentukkan lapisan film dari inhibitor fosfat;
8. Mangan dioksida, mangan teroksidasi tingkat tinggi;
9. Magnesium silika, silika dan magnesium pada konsentrasi tinggi dengan pH tinggi;
10. Magnesium karbonat, magnesium dengan konsentrasi tinggi dan pH tinggi serta CO_2 tinggi

(Lestari, 2008; Nunn, 1997).

Kerak adalah tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air (Bhatia, 2003). Secara luas air digunakan sebagai cairan pendingin untuk menghilangkan panas yang tidak diinginkan dari permukaan perpindahan panas seperti pada alat penukar panas, kondensor, evaporator, *cooling tower* dan *pipe walls*. Air dipompa ke seluruh tabung penukar panas logam yang terkena proses panas dalam proses pendinginan. Air panas yang dihasilkan menjadi dingin dalam *cooling tower* melalui proses penguapan yang akan digunakan kembali sehingga proses pendinginan dapat diulangi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (Kragh *et al.*, 1981). Pendinginan uap tersebut memungkinkan sistem air menjadi lewat jenuh, dengan adanya mineral terlarut yang dipengaruhi oleh karbonat, sulfat, fosfat dan lain-lain yang menghasilkan deposit dan pembentukan kerak. Pembentukan kerak dapat terjadi dikarenakan fluktuasi suhu yang mendadak pada permukaan perpindahan panas ketika air menyentuh permukaan tersebut.



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

Pembentukan kerak terjadi dalam suatu aliran yang mengandung garam sehingga jika mengalami penurunan tekanan secara tiba-tiba, maka aliran tersebut menjadi lewat jenuh dan menyebabkan terbentuknya endapan garam yang menumpuk pada dinding-dinding peralatan proses industri (Amjad, 1988). Pembentukan kerak pada pipa-pipa di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis. Hal ini disebabkan karena kerak dapat menutupi atau menyumbat air yang mengalir dalam pipa dan sekaligus menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Terganggunya aliran fluida menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan pecah dan rusak semakin tinggi (Patton, 1981).



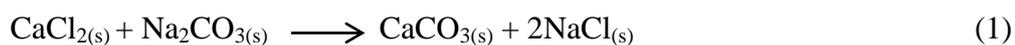
Gambar 2. Kerak CaCO_3 dalam pipa industri (Haklidir and Mehmet, 2017).

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

bikarbonat akan berubah menjadi karbonat yang lebih kecil nilai kelarutannya. Oleh sebab itu kelebihan ion kalsium dapat mengakibatkan pembentukan kerak pada pipa yang disebabkan oleh endapan kalsium karbonat (CaCO_3).

D. Kalsium Karbonat (CaCO_3)

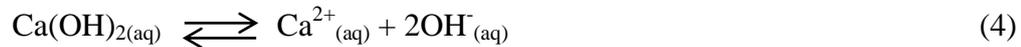
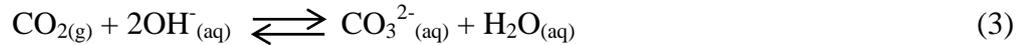
Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu endapan penyusun kerak yang menjadi masalah serius pada sebagian besar proses industri yang melibatkan air garam (Amjad, 1988) dan pada operasi minyak bumi (Halimatuddahlia, 2003). Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan padatan putih yang hanya sedikit larut dalam air. Kalsium karbonat terurai bila dipanaskan menghasilkan kalsium oksida (kapur tohor) dan karbon dioksida. Kalsium karbonat (CaCO_3) terbentuk dari reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dalam bentuk CaCl_2 dengan ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam bentuk Na_2CO_3 (Svehla, 1990). Kalsium karbonat dibuat dari reaksi yang dapat dilihat pada Persamaan (1) dan (2) sebagai berikut :



Karbonat pada kalsium tidak larut dalam air dan hasil kali kelarutannya menurun dengan naiknya ukuran Ca^{2+} (Cotton and Wilkinson, 1989). Kelarutan CaCO_3 yang sedikit dapat terbentuk jika larutan lewat jenuh dalam tempat pengolahannya terjadi kesetimbangan kimia dengan lingkungannya pada tekanan dan temperatur yang sebenarnya. Berdasarkan Persamaan (3) dan (4), dapat dilihat bahwa kesetimbangan CaCO_3 dapat diganggu dengan pengurangan gas CO_2 dari aliran selama proses produksi berlangsung. Hal ini akan mengakibatkan pengendapan

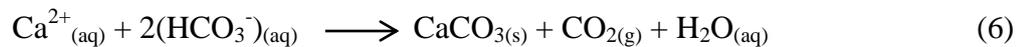
sehingga terbentuklah kerak. Pengendapan CaCO_3 telah diuraikan pada

Persamaan (5) :

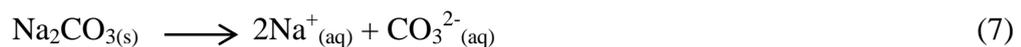


(Zhang *et al.*, 2002).

Selain reaksi di atas kerak kalsium karbonat juga merupakan endapan senyawa CaCO_3 (kalsit) yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dengan ion bikarbonat (HCO_3^-), naiknya pH akibat lepasnya CO_2 ke fasa gas akan terjadi reaksi kesetimbangan pembentukan kerak CaCO_3 dengan Persamaan (6) sebagai berikut :



Model kesetimbangan diatas berjalan lambat atau dikenal sebagai sistem larutan *calco carbonic* yang banyak digunakan oleh peneliti untuk memodelkan fenomena pembentukan kerak pada air sadah. Adapun model larutan lain yang digunakan oleh banyak peneliti dalam mengamati pembentukan CaCO_3 adalah dengan mencampurkan larutan Na_2CO_3 dengan CaCl_2 dalam Persamaan (7) dan (8) sebagai berikut :



Dapat dilihat pada Persamaan (9) bahwa proses pembentukan CaCO_3 ini berjalan spontan terutama pada fasa larutan. Pembentukan CaCO_3 dapat terjadi pada fasa larutan (*homogeneous precipitation*) dan pada fasa permukaan (*heterogeneous precipitation*). Bahwa pada kesadahan rendah ($\text{Ca}^{2+} < 80 \text{ ppm}$) pembentukan CaCO_3 lebih banyak terjadi di permukaan, sedangkan kenaikan suhu lebih mendorong terjadinya presipitasi ke fasa larutan.

CaCO_3 dijumpai di alam sebagai mineral kalsit dan aragonit (Daintith, 1994). Kalsit merupakan bentuk CaCO_3 yang lebih lazim, dapat dibedakan dengan aragonit berdasarkan kekerasan dan bobot jenisnya. Aragonit terbentuk pada tekanan yang lebih tinggi dan tidak stabil pada kondisi-kondisinya bahkan didapati sebagai endapan utama. Lambat laun, aragonit akan mengalami rekristalisasi menjadi kalsit (Daintith, 1994).

Kalsit merupakan salah satu mineral kalsium karbonat yang mengkristal dalam sistem rombohedral, biasanya tidak berwarna atau berwarna putih dan mempunyai kekerasan 3 pada skala Mohs dengan bobot jenis 2,71. Kalsit adalah mineral pembentuk batuan dan merupakan penyusun utama dalam batu gamping, marmer dan karbonatit. Aragonit merupakan mineral anhidrat pembentuk batuan kalsium karbonat, yang mengkristal dalam sistem rombus dengan bobot jenis 2,93 dan mempunyai kekerasan 3,5-4,0 pada skala Mohs (Suharso dan Buhani, 2015).

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, kalsit dan aragonit adalah dua bentuk mineral dengan komposisi kimia yang sama yaitu CaCO_3 . Berdasarkan struktur atom-atomnya, dengan semua karbonat paling kuat, ikatan kovalen parsial terjadi diantara atom karbon dan tiga oksigen tetangga terdekatnya. Setiap kompleks

anion (CO_3^{2-}) mengikat secara ionik dengan dua kation Ca^{2+} pada kalsit dan tiga kation Ca^{2+} pada aragonit. Hasil geometri unit sel kalsit rombohedral dan aragonit adalah ortorombik (Sen, 2011).

E. Mekanisme Pembentukan Kerak

Proses pengendapan kerak terjadi melalui tiga tahap, yaitu sebagai berikut :

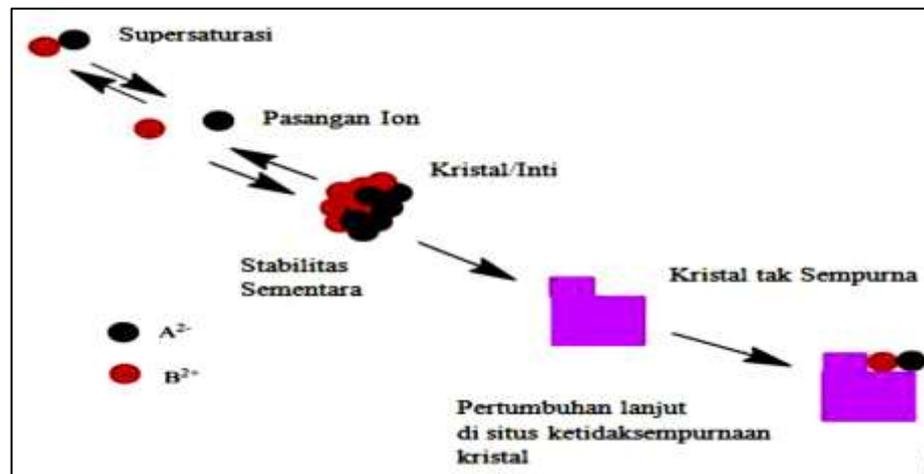
1. Nukleasi

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. Bisa juga dikatakan partikel halus secara kimia yang tidak berhubungan dengan endapan melainkan ada kemiripan dengan struktur kisi kristal. Jika inti dibentuk dari ion atau komponen endapan, fasa awal endapan dapat disebut sebagai nukleasi homogen.

a. Nukleasi Homogen

Gugus atom yang tidak stabil menghasilkan benih kristal kecil di dalam larutan lewat jenuh. Akibatnya ukuran benih kristal tersebut tumbuh, dengan menyerap ion ke dalam permukaan kristal yang tidak sempurna maka ukuran kristal menjadi semakin lebih besar. Energi saat kristal tumbuh menjadi lebih besar diperoleh dari reduksi pada permukaan energi bebas kristal. Selain itu, dengan cepat direduksi saat peningkatan radius mencapai radius kritis. Hal ini menunjukkan bahwa kristal yang berukuran besar mendukung agar kristal dapat terus tumbuh

sedangkan benih kristal berukuran kecil dapat kembali larut. Jadi, benih kristal merupakan suatu katalisator pembentukan kerak yang dapat mendorong pertumbuhan tumpukan kerak. Adapun pembentukan kerak secara nukleasi homogen dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut :

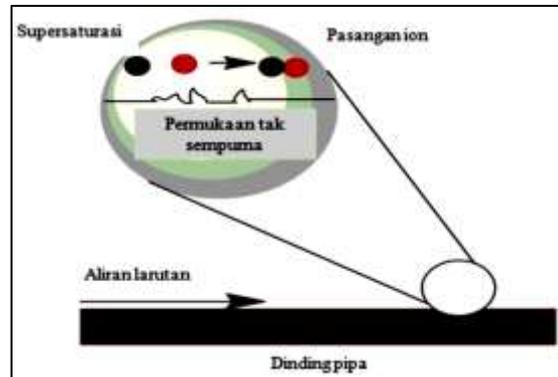


Gambar 3. Nukleasi homogen (Crabtree *et al.*, 1999).

b. Nukleasi Heterogen

Pertumbuhan kristal pada nukleasi heterogen dimulai pada permukaan batas larutan yang sudah ada sebelumnya di dalam pipa pertukaran panas. Nukleasi heterogen yang ada pada permukaan, bekerja jauh lebih baik daripada nukleasi homogen. Tempat nukleasi heterogen mencakup permukaan tak sempurna seperti kekasaran permukaan pipa atau perforasi (Alahmad, 2008) pada jalur produksi atau bahkan bergabung dan meninggalkan bekas pada *tubing* dan *pipelines* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Alat penukar panas sistem air pendingin biasanya terbuat dari baja karbon, besi tahan karat, tembaga atau paduan tembaga. Permukaan berpengaruh pada terjadinya nukleasi heterogen, maka perubahan

struktur permukaan, penutup permukaan dan komposisi bisa memiliki dampak yang signifikan terhadap proses pembentukan kerak.



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

2. Pertumbuhan Kristal

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

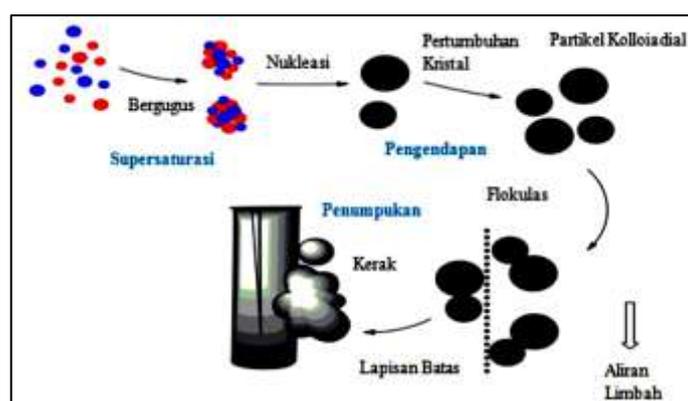
3. Aglomerasi

Padatan yang awalnya terbentuk dengan pengendapan, kemungkinan bukan padatan yang 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.

Pembentukan kerak dan deposit terbentuknya endapan pada pipa industri terjadi karena adanya proses kristalisasi yang kompleks. Kecepatan pembentukan

lapisan awal kerak dan kecepatan pertumbuhan yang ditentukan melalui interaksi dari beberapa kecepatan proses seperti: nukleasi, difusi, reaksi kimia dan kesesuaian pola geometris molekul-molekul dan atom-atom kristal kerak dan lain-lain. Sebagian besar kelarutan mineral pembentuk kerak cenderung menurun terhadap kenaikan suhu. Oleh karena itu, bila larutan lewat jenuh bersinggungan dengan permukaan transfer panas, mineral tersebut mengendap menjadi padatan karena daya larut setimbangnya menurun.

Ketika larutan menjadi lewat jenuh dan nukleasi terjadi, kondisi ini sangat cocok dan ideal untuk pertumbuhan kristal partikel kerak. Mekanisme pembentukan deposit kerak dapat dilihat pada Gambar 5. Senyawa-senyawa yang dibawa air seperti kalsium sulfat, magnesium sulfat, barium sulfat, magnesium karbonat, kalsium karbonat, silikat dan lain-lain dapat mengendap dan membentuk kerak. Perubahan-perubahan tersebut terjadi dalam peralatan-peralatan proses, penukar panas, evaporator, boiler, *cooling tower* dan lain-lain (Salimin dan Gunandjar, 2007).



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

F. Faktor Pembentuk Kerak

Menurut Antony *et al.* (2011), faktor-faktor utama yang berpengaruh terhadap pembentukan, pertumbuhan serta pengendapan kerak antara lain

1. Perubahan tekanan;
2. Laju alir;
3. Temperatur;
4. Percampuran dua jenis air yang mempunyai susunan mineral tidak sesuai;
5. Adanya supersaturasi;
6. Penguapan akibat dari perubahan konsentrasi;
7. Pengadukan (agitasi, pengaruh dari turbulensi);
8. Waktu kontak antara padatan dengan permukaan media pengendapan serta perubahan pH air.

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

1. Kualitas Air

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

2. Temperatur Air

Pada umumnya komponen pembentuk kerak cenderung mengendap atau

menempel sebagai kerak pada temperatur tinggi. Hal ini disebabkan karena kelarutannya menurun dengan naiknya temperatur. Laju pergerakan mulai meningkat pada temperatur air 50 °C atau lebih.

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.

G. Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak CaCO_3

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

1. Pengendalian pH

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

2. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Cara mencegah terbentuknya kerak pada air yang mengandung kesadahan tinggi (± 250 ppm CaCO_3) perlu adanya pelunakan dengan menggunakan kapur dan soda abu (pengolahan kapur dingin). Masalah kerak tidak akan dijumpai bilamana dipakai air bebas mineral karena seluruh garam-garam terlarut dapat dihilangkan. Oleh karena itu pemakaian air bebas mineral merupakan metode yang tepat untuk menghambat kerak dalam suatu sistem dengan pembebanan panas tinggi dimana pengolahan konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil (Lestari dkk., 2004). Namun penggunaan air bebas mineral membutuhkan biaya yang cukup tinggi untuk digunakan dalam industri skala besar sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja.

3. Penggunaan Inhibitor Kerak

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

Menurut Al-Deffeeri (2006), beberapa 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.

Menurut (Duccini *et al.*, 2007), inhibitor kerak ideal harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

1. Kontrol kerak efektif pada konsentrasi inhibitor rendah;
2. Kompatibilitas dengan air laut dan air produksi;
3. Keseimbangan antara sifat adsorpsi-desorpsi;
4. Stabilitas termal tinggi;
5. Toksisitas rendah dan biodegradabilitas tinggi;
6. Biaya rendah;
7. Bebas dari fosfor dan logam berat.

H. Mekanisme Kerja Inhibitor

Peran inhibitor dalam penghambatan kerak seperti kerak 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. Proses ini dikendalikan oleh kinetika dan bukan efek termodinamika. 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.*, 2007). Kehadiran gugus seperti $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ dan $-\text{NH}_2$ meningkatkan laju pelarutan dan efisiensinya (Demadis *et al.*, 2007).

2. Khelat (*Chelates*)

Chelant adalah aditif kimia penting yang mengikat spesies kationik yang dapat larut (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} 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 nitriltriasetat) dan polifosfonat (Kolodynska, 2011; Knepper, 2003). Inhibitor khelating 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*)

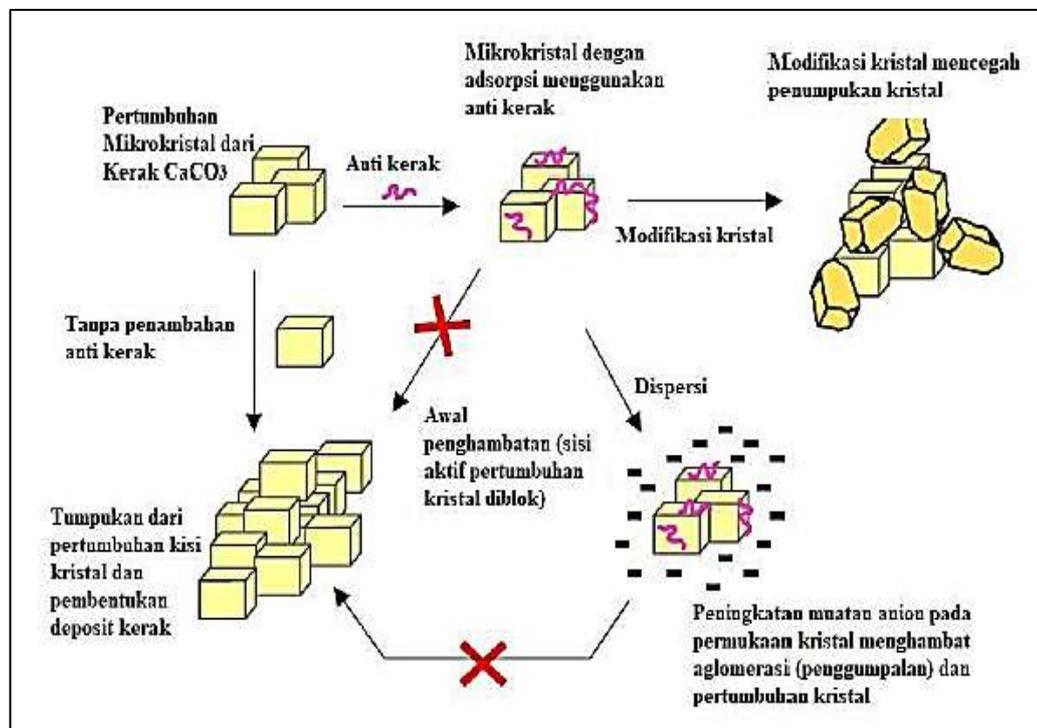
Pada mekanisme distorsi kristal, bahan kimia mempengaruhi susunan dan reaksi pertumbuhan kristal sehingga menyebabkan tidak biasa, bentuk yang tidak kristalin. Distorsi kristal juga menunda pertumbuhan kristal dari kristal yang biasanya sangat teratur. Molekul inhibitor menyerap ke situs pertumbuhan 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 mengisi permukaan. Tegangan 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 khelating untuk penghambatan kerak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



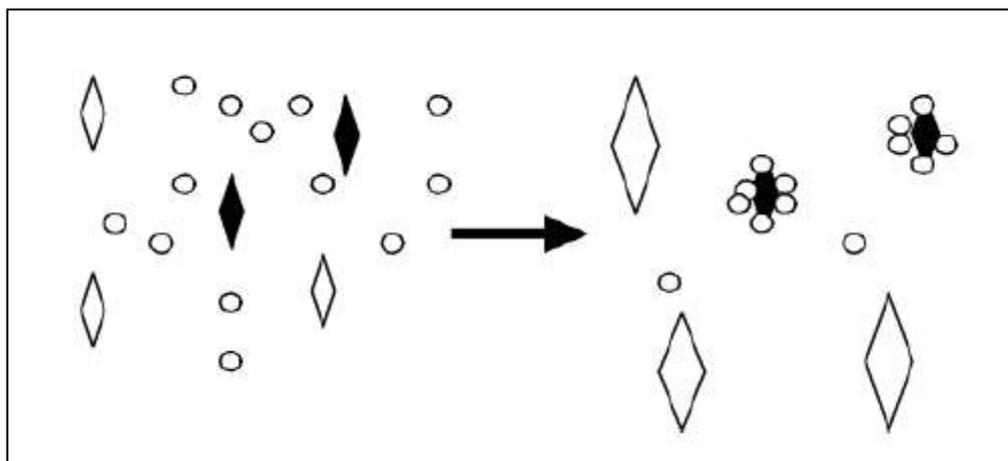
Gambar 6. Mekanisme pencegahan kerak dengan penghambatan ambang atas, dispersi dan modifikasi kristal (Chauhan *et al.*, 2015).

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 *et al.*, 2007).
3. Terjadi proses adsorpsi ion atau molekul adsorbat pada permukaan kristal dan memberikan aksi perlindungan terhadap proses pertumbuhan. Inhibitor dapat berikatan dengan permukaan kristal melalui perpindahan elektron dari

senyawa inhibitor ke kristal membentuk ikatan koordinasi (Suharso dan Buhani, 2015).

Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan pada Gambar 7 yang 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 dkk., 2015).



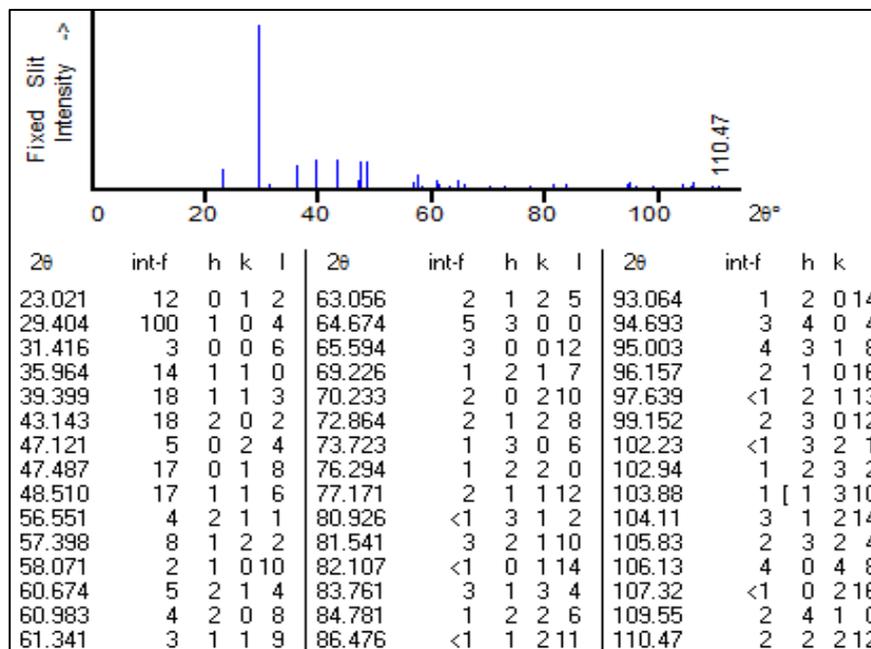
Gambar 7. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dalam larutan pertumbuhan (\circ = inhibitor, \diamond = bibit kristal) (Chauhan *et al.*, 2015).

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

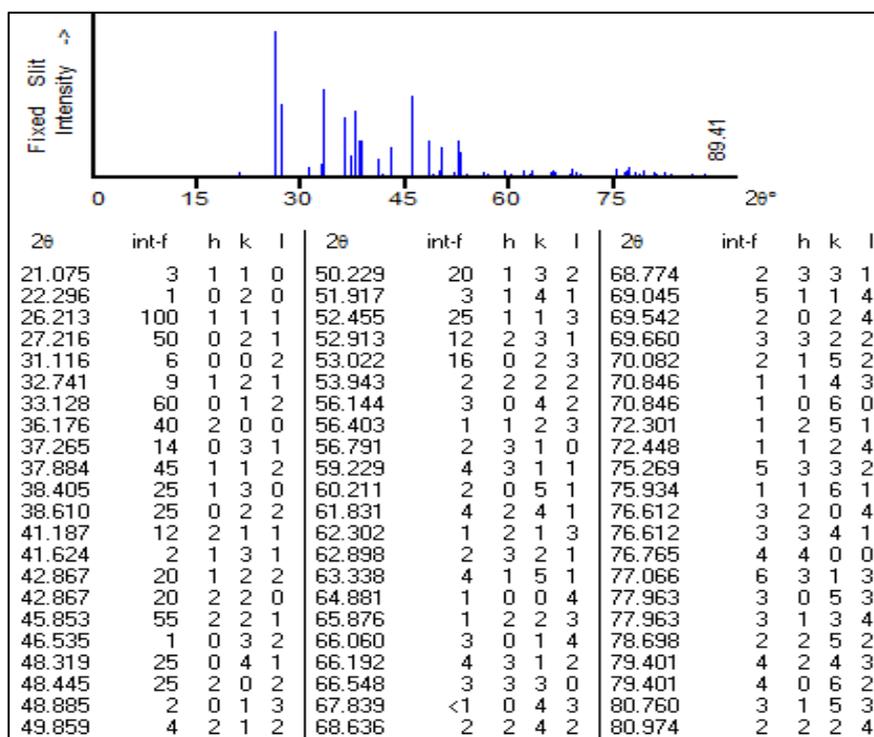
atau oksigen sebagai situs *chemisorption*. Kerapatan elektron yang lebih tinggi dalam struktur inhibitor mampu mendorong efektivitas inhibitor dalam pencegahan kerak. Senyawa kimia ramah lingkungan sebagai inhibitor akan membentuk selaput adsorpsi pada permukaan logam dan mencegah timbulnya kerak pada 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, -NH₂ mampu melakukan adsorpsi pada permukaan kristal CaCO₃. 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 8.

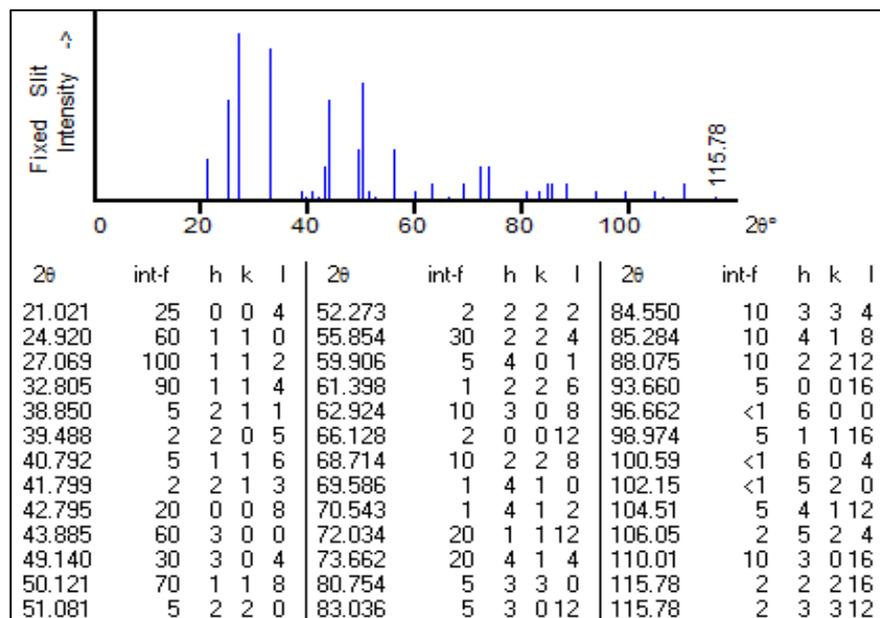
vaterit berdasarkan database JCPDS (*Join Committee on Powder Diffraction Standard*).



Gambar 9. Difraktogram sinar-x dan 2θ standar dari CaCO_3 fasa kalsit.



Gambar 10. Difraktogram sinar-x dan 2θ standar dari CaCO_3 fasa aragonit.

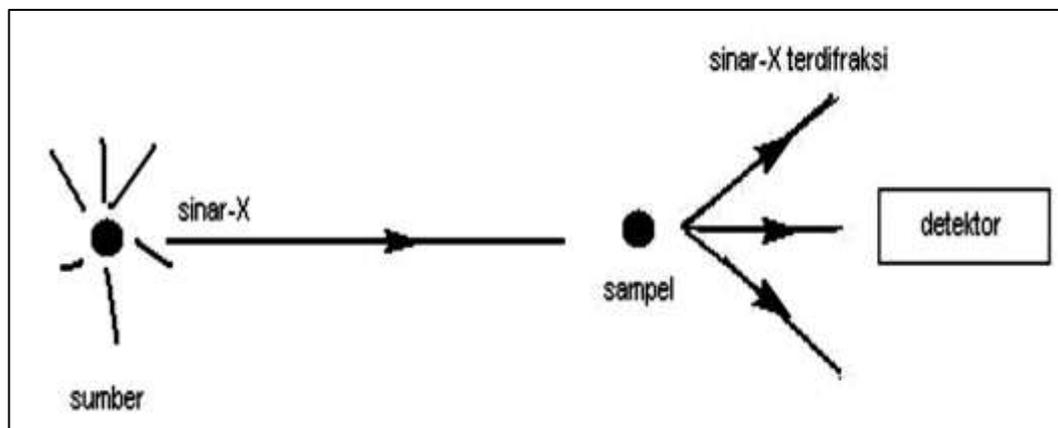


Gambar 11. Difraktogram sinar-x dan 2θ standar dari CaCO_3 fasa vaterit.

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang sekitar 100 pm yang dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Melalui analisis tinggi XRD, diketahui dimensi kisi (d =jarak antar kisi dalam struktur mineral (Tovina, 2009). Hasil yang didapatkan dari difraksi sinar-X adalah berupa puncak-puncak intensitas dan bentuk difraksi, versus sudut hamburan, 2θ (Bragg *et al.*, 1975).

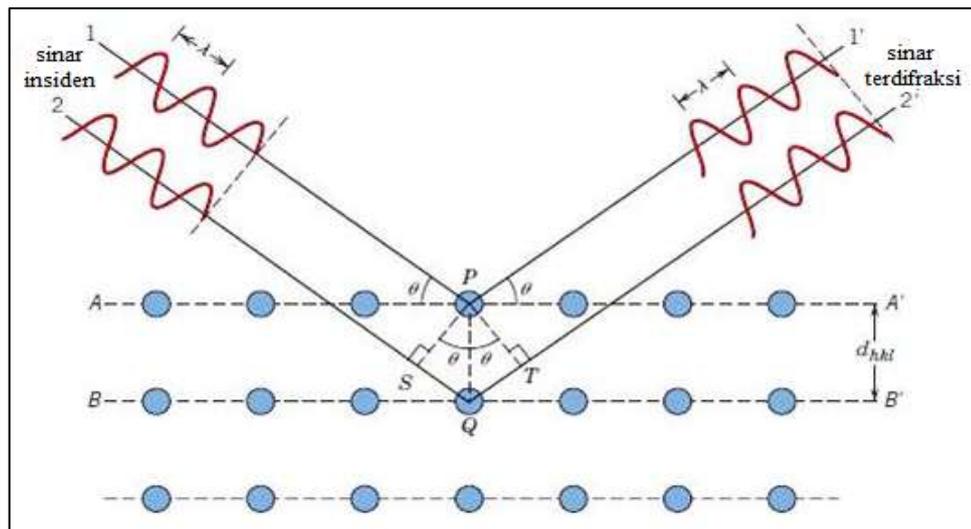
Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi tentang struktur suatu sampel, termasuk tentang keberadaan amorf dan kristalin. Pola hamburan sinar-X juga dapat memberikan informasi tentang konfigurasi rantai dalam kristal dengan daerah amorf dalam sampel polimer. XRD dapat juga digunakan untuk mengukur macam-macam kecacakan dan penyimpangan kristal, karakterisasi material kristal, identifikasi mineral-mineral yang berbutir halus seperti tanah liat dan penentuan dimensi-dimensi sel satuan. XRD dapat digunakan untuk mendapatkan data

kuantitatif tentang struktur kristal dengan menggunakan teknik-teknik yang khusus. Skema kerja alat XRD ditunjukkan pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Skema kerja alat XRD (Leofanti, 1997).

Sinar-X yang mengenai suatu bahan akan dipantulkan sehingga menghasilkan spektrum pantulan yang spesifik dan berhubungan langsung dengan kisi kristal yang dianalisis. Pola difraksi dikelompokkan berdasarkan intensitas peak yang menyatakan peta parameter kisi kristal atau indeks Miller (hkl) sebagai fungsi 2θ , dimana θ menyatakan sudut difraksi berdasarkan persamaan (Richardson, 1989). Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar. Hukum Bragg diturunkan berdasarkan karakteristik difraksi sinar-X oleh suatu zat, seperti ditunjukkan dalam Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Ilustrasi difraksi sinar-X pada XRD (Callister and Rethwisch, 2009).

Pada persamaan interpretasi Hukum Bragg dilakukan berdasarkan asumsi bahwa permukaan dari mana sinar X dipantulkan adalah datar. Dimana d menyatakan jarak antar lapisan atom atau ion yang berdekatan, λ yang menyatakan panjang gelombang radiasi sinar-X dan n adalah urutan pantulan. Keberadaan atau terbentuknya kristal dapat diidentifikasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD), karena karakterisasi menggunakan XRD didasarkan pada fakta bahwa pola difraksi sinar-X untuk masing-masing material kristalin adalah karakteristik. Oleh karena itu, bila pencocokan yang tepat dapat dilakukan antara pola difraksi sinar-X dari sampel yang tidak diketahui dengan sampel yang telah diketahui, maka identitas dari sampel yang tidak diketahui itu dapat diketahui (Skoog and Leary, 1992).

J. Analisis Menggunakan GC-MS

Pada dasarnya perangkat GC-MS merupakan perpaduan perangkat GC yang berperan untuk memisahkan komponen yang ada dalam suatu sampel dan

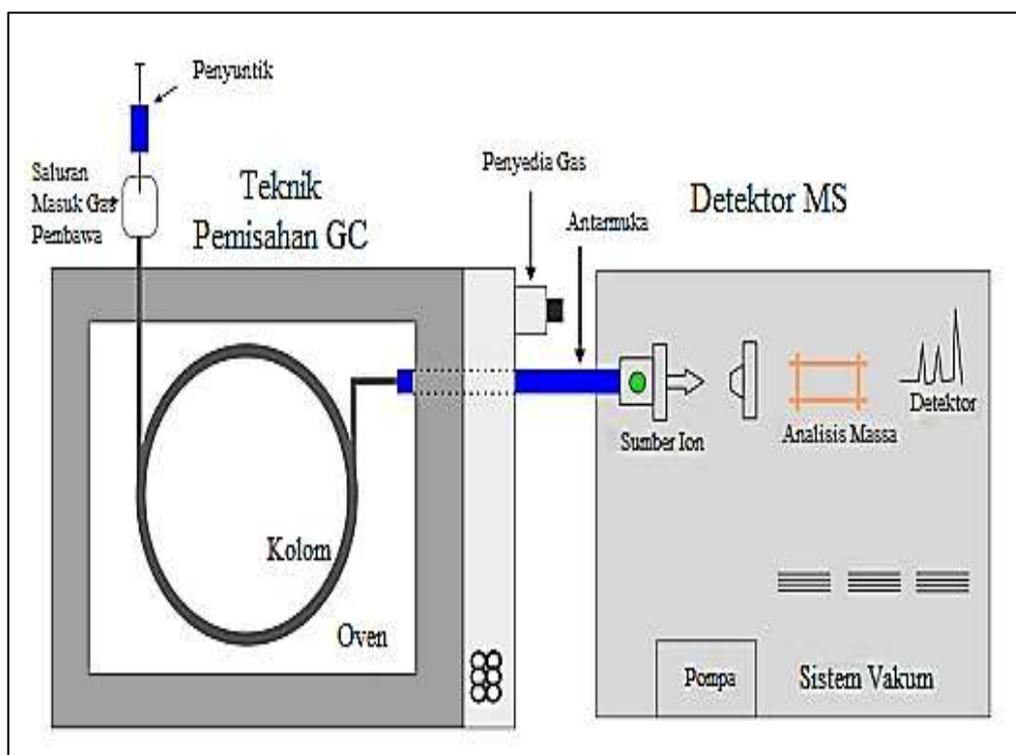
perangkat MS yang berperan sebagai detektor. Komponen penting dalam kromatografi gas adalah tangki pembawa gas yang dilengkapi dengan pengatur tekanan, tempat injeksi sampel, kolom, detektor yang dilengkapi termostat, *amplifier* dan rekorder.

Prinsip kerja dari GC-MS yaitu molekul-molekul gas bermuatan akan diseleksi berdasarkan massa dan beratnya, spektrum yang didapat dari perubahan sampel menjadi ion-ion yang bergerak, kemudian dipisahkan berdasarkan perbandingan massa terhadap muatan (m/e). Ionisasi menghasilkan fragmen-fragmen yang akan menghasilkan spektrum. Spektrum massa yang dihasilkan akan mempengaruhi sifat molekul, potensial ionisasi, titik uap dan berfungsi sebagai alat penganalisis apakah tunggal, ganda, kuadropol atau *time offlight*.

Proses analisisnya adalah dimulai dari sampel yang diuapkan dan didorong menuju ruangan pengion yang akan menghasilkan ion-ion bermuatan positif dan molekul dipisahkan dalam bentuk ionnya, ion positif masuk ke daerah penganalisis massa dan akibat medan magnet yang menyebabkan lintasan menjadi melengkung, fragmen akan bergerak cepat menuju celah keluar dengan cara memvariasikan potensial akselerasi atau kekuatan medan dan magnet yang akan dicatat oleh rekorder.

Metode analisis dilakukan dengan membandingkan konsentrasi massa atom dari spektrum yang dihasilkan. Teknik spektrometri ini menggunakan prinsip pemisahan campuran berdasarkan perbedaan dan kecepatan migrasi komponen penyusun suatu senyawa.

GC-MS merupakan gabungan dari dua instrumen analisis, yaitu kromatografi gas dan spektrofotometri massa sehingga menjadi sebuah instrumen yang sangat efektif untuk analisis (Baugh, 1993). Spektrofotometer massa merupakan *detector universal* sehingga GC-MS dapat digunakan untuk menganalisis berbagai jenis senyawa dan menjadikan perangkat analisis ini menjadi salah satu instrumen dengan penggunaan yang sangat luas. Alat ini semakin populer digunakan dalam analisa di bidang kimia organik, ilmu kedokteran, farmasi dan dalam bidang lingkungan. Alat ini juga dilengkapi dengan sistem kepustakaan senyawa kimia, sehingga identifikasi senyawa kimia dapat dilakukan dengan cepat tanpa bantuan instrumen lainnya, seperti spektrofotometri inframerah dan spektrofotometri inti (Torres, 2005). Skema GC-MS dapat dilihat pada Gambar 14.

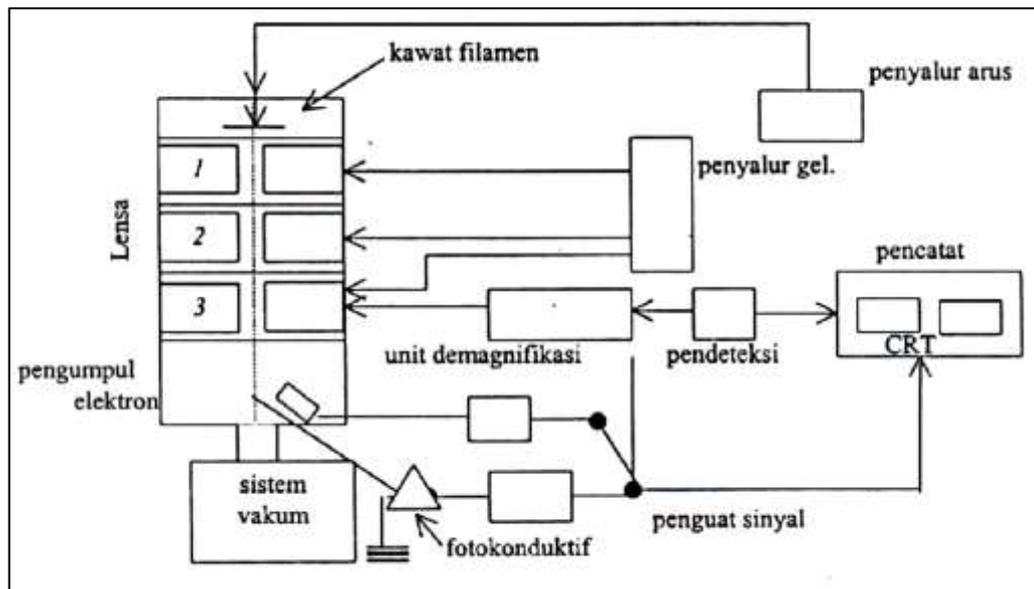


Gambar 14. Instrumentasi GC-MS (Anonim, 2017).

K. Analisis Menggunakan SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu alat karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural dan komposisi pencemaran suatu bahan atau dapat pula digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan suatu bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa *scanning electron micrograp* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan obyek, yang secara umum diperbesar antara 1.000-40.000 kali. Hasil SEM yang berupa gambar topografi menyajikan bentuk permukaan bahan dengan berbagai lekukan dan tonjolan.

Analisis prinsip kerja SEM dengan mikroskop optik, hanya saja berbeda dalam perangkatnya. Pertama berkas elektron disejajarkan dan difokuskan oleh magnet yang didesain khusus berfungsi sebagai lensa. Energi elektron biasanya 100 kV, yang menghasilkan panjang gelombang kira-kira 0,04 nm. Spesimen sasaran sangat tipis agar berkas yang dihantarkan tidak diperlambat atau dihamburkan terlalu banyak. Bayangan akhir diproyeksikan ke dalam layar pendar atau film. Berbagai distorsi yang terjadi akibat masalah pemfokusan dengan lensa magnetik membatasi resolusi hingga sepersepuluh nanometer (Tipler, 1991).



Gambar 15. Skema bagan SEM (Gabriel, 1985).

Cara kerja SEM adalah gelombang elektron yang dipancarkan *electron gun* terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi (Kroschwitz, 1990).

Electron gun adalah suatu sumber elektron dengan energi yang tinggi dipancarkan dari sebuah filamen seperti tungsten, yang berfungsi sebagai katoda. Hal ini akan mengakibatkan elektron mengalir menuju anoda. Dalam prinsip pengukuran SEM dikenal ada dua jenis elektron, yaitu elektron primer dan elektron sekunder.

Elektron primer merupakan elektron berenergi tinggi yang dipancarkan dari sebuah katoda (Pt, Ni, W) yang dipanaskan. Katoda yang biasa digunakan adalah

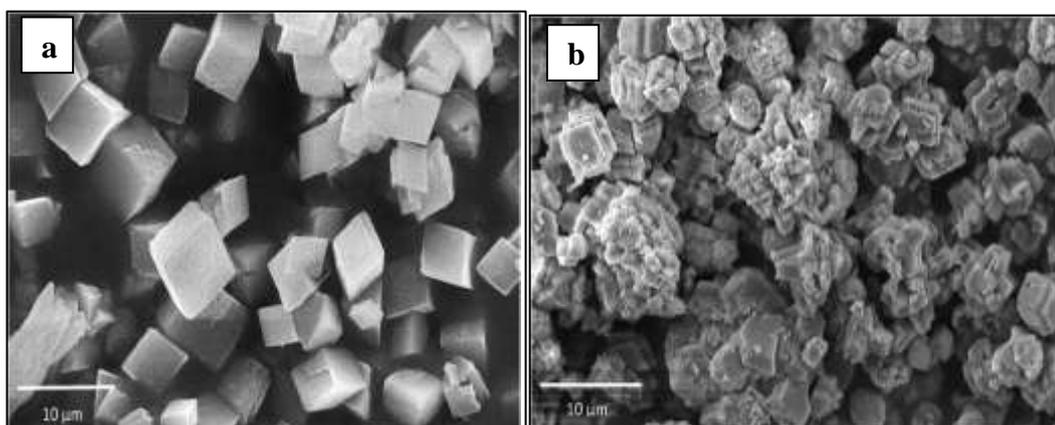
tungsten (W) atau *Lanthanum Hexaboride* (LaB6). Tungsten digunakan sebagai katoda karena memiliki titik lebur yang paling tinggi dan tekanan uap yang paling rendah dari semua logam, sehingga memungkinkannya dipanaskan pada temperatur tinggi untuk emisi elektron. Elektron sekunder adalah elektron berenergi rendah yang dibebaskan oleh atom pada permukaan setelah permukaan dikenai oleh berkas elektron elektron primer. Elektron sekunder inilah yang akan ditangkap oleh detektor dan mengubah sinyal tersebut menjadi suatu gambar yang dikenal sebagai mikrograf.

Ketika arus mengalir melalui filamen maka terjadi perbedaan potensial antara katoda dan anoda akibat pancaran elektron (*electron beam*). Kemudian berkas elektron difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan cermin pengarah (*condenser lens*). Gelombang elektron yang dipancarkan *electron gun* terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. Kumparan pemindai (*scanning coil*) yang diberi energi menghasilkan medan magnetik. Berkas elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder (*secondary electron*) dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Mikrograf yang dihasilkan dari analisis dengan SEM memberikan beberapa informasi yang berkaitan dengan morfologi permukaan sampel, yakni ukuran butir, distribusi butir dan porositas permukaan.

Pada penelitian ini, analisis SEM digunakan untuk melihat perubahan morfologi dan permukaan kristal CaCO_3 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor.

Menurut hasil pengamatan yang telah dilakukan oleh Suharso *et al.* (2017a)

terjadi perubahan morfologi dan permukaan kristal CaCO_3 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 16 (a) dan (b). Berdasarkan gambar tersebut dapat diamati bahwa dengan penambahan inhibitor tidak hanya mengubah morfologi tetapi juga menghambat pertumbuhan kristal CaCO_3 . Ukuran dari kristal CaCO_3 dengan adanya inhibitor lebih kecil dibandingkan dengan tidak adanya inhibitor. Jadi Gambar 16 (a) dan (b) merupakan bukti visual efek penambahan inhibitor pada pembentukan kerak CaCO_3 .



Gambar 16. Mikrograf kerak CaCO_3 (a) tanpa (b) dengan penambahan inhibitor (Suharso *et al.*, 2017a).

Perubahan morfologi kristal CaCO_3 adalah karena distorsi kristal. Berdasarkan mekanisme distorsi kristal, inhibitor ditambahkan ke dalam larutan pertumbuhan CaCO_3 sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan reaksi kristal dan menginduksi bentuk nonkristalin yang tidak teratur. Inhibitor juga menghambat pertumbuhan kristal yang biasanya tumbuh dengan sangat teratur. Suharso *et al.* (2017a) menggunakan ekstrak gambir sebagai inhibitor. Molekul penghambat terutama tanin dari ekstrak gambir diadsorpsi ke situs pertumbuhan aktif kristal CaCO_3 , sehingga dapat menghambat pertumbuhan kristal.

L. Analisis Menggunakan PSA

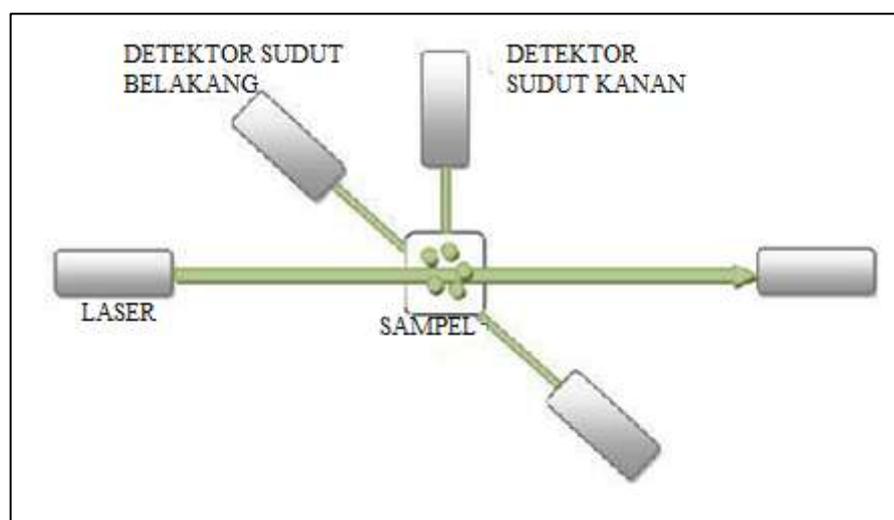
Karakterisasi menggunakan PSA dimaksudkan untuk mengetahui ukuran dan distribusi dari suatu sampel. Berkas cahaya laser dalam skema di atas dilewatkan melalui sel berisi sampel. Sampel dengan ukuran besar ketika terkena cahaya dari laser akan membentuk berkas cahaya yang dapat dilakukan dengan mendispersikan sampel dengan dua cara. Berdasarkan cara ini metode PSA dibedakan menjadi metode basah dan metode kering. Pada sudut yang kecil dan sebaliknya. Sudut yang terbentuk akan diteruskan melewati satu dari dua detektor (*back angle detector* dan *right angle detector*) dan selanjutnya diteruskan ke pengolahan data, menghasilkan kurva yang menunjukkan distribusi ukuran partikel sampel.

Analisis PSA pada metode basah digunakan pelarut sebagai media pendispersi. Apabila digunakan sampel yang larut air maka digunakan pelarut organik sedangkan untuk sampel yang larut pada pelarut organik, maka bisa digunakan air sebagai media pendispersinya. Hal ini dimaksudkan agar partikel tidak saling menyatu hingga menggumpal. Dalam metode kering memanfaatkan aliran udara untuk mendispersikan partikel. Metode ini baik digunakan untuk partikel yang bobotnya tidak terlalu ringan.

Metode sedigraf digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel yang secara luas sudah dipakai dalam berbagai aplikasi sejak tahun 1967.

Instrumentasi ini sudah melalui pembuktian dalam kecepatan, kemampuan penanganan sampel dan reduksi data serta presentasi sejak diperkenalkan. Dasar metode analisis, pengukuran partikel dengan mengukur kecepatan dan penentuan

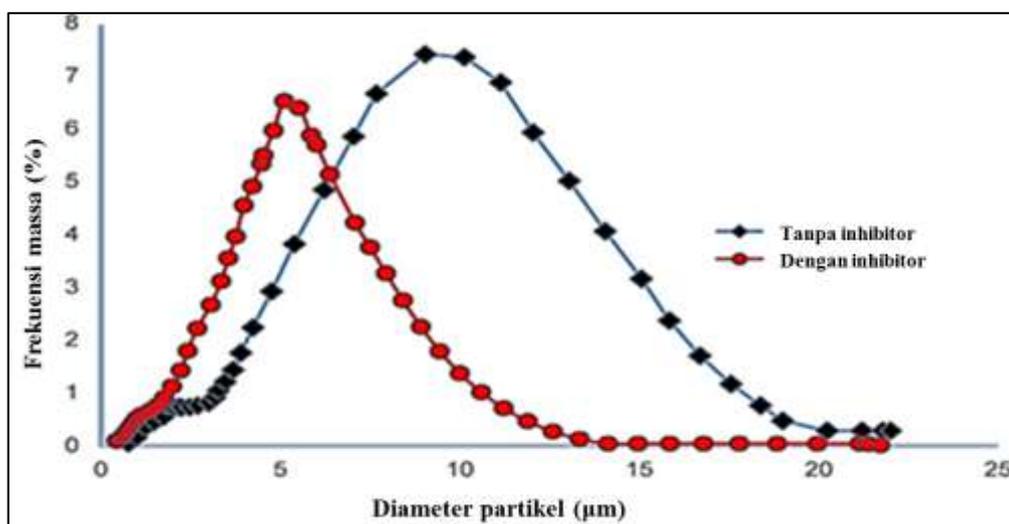
fraksinasi massa dengan kerelatifan absorpsi sinar-X pada energi rendah. Sedigraf menggunakan sinar-X sebagai tanda horizontal tipis untuk mengukur konsentrasi partikel massa secara langsung dalam medium cairan. Cara ini dilakukan pada pengukuran pertama intensitas massa, I_{\max} dari garis dasar atau keterangan atau informasi yang ditransmisikan sinar-X yang sudah diproyeksikan melalui medium cairan sebelum pengenalan sampel. Sebagai sirkulasi cairan yang berkelanjutan, sampel berupa padatan dimasukkan ke wadah cairan dan dicampur sampai penyebaran aliran suspensi sampel berupa padatan homogen dan penyebaran cairan dipompa melalui sel. Skema alat PSA ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Skema alat PSA.

Sampel berupa padatan lebih banyak mengabsorpsi sinar-X daripada cairan, oleh karena itu transmisi sinar-X dikurangi. Sejak pencampuran suspensi yang homogen, intensitas diasumsikan sebagai nilai konstan, I_{\min} untuk transmisi sinar-X dalam skala pengurangan yang penuh. Aliran pencampuran dihentikan dan penyebaran yang homogen dimulai untuk menyelesaikan pentransmisi intensitas sinar-X yang dimonitor pada *depth-s*. Selama proses sedimentasi,

partikel yang besar menempati tempat pertama di bawah zona pengukuran dan pada akhirnya, semua partikel menempati level ini dan yang tertinggal hanya cairan yang bersih. Semakin banyak partikel besar yang menempati di bawah zona pengukuran dan tidak digantikan dengan ukuran partikel yang sama yang menempati dari atas, maka pelemahan sinar-X berkurang (Webb, 2002).

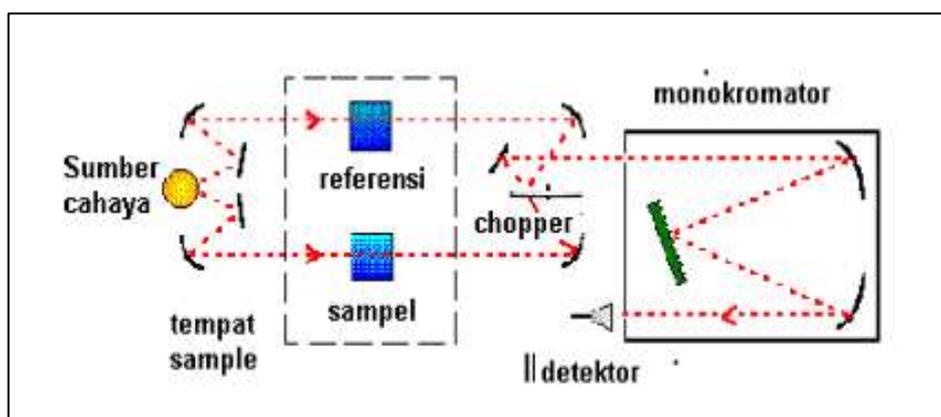


Gambar 18. Distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3 sebelum dan setelah penambahan inhibitor (Suharso *et al.*, 2017a).

Hasil pengamatan dari Gambar 18 menunjukkan bahwa rata-rata distribusi ukuran partikel dari kristal CaCO_3 dengan adanya inhibitor menurun. Rata-rata distribusi ukuran partikel kristal CaCO_3 tanpa penambahan inhibitor yaitu sebesar 10,6 μm . Setelah inhibitor ekstrak Gambir ditambahkan ke dalam larutan pertumbuhan kristal CaCO_3 , rata-rata distribusi ukuran partikel dari kristal CaCO_3 berubah menjadi 5,01 μm (Suharso *et al.*, 2017a).

M. Analisis Menggunakan FT-IR

Spektrofotometri inframerah merupakan salah satu metode dalam identifikasi struktur suatu senyawa yaitu dengan mengetahui adanya gugus-gugus fungsional utama dalam suatu sampel. Setiap gugus fungsi pada suatu senyawa yang menyerap radiasi inframerah, memiliki panjang gelombang yang berkarakteristik. Menurut Sastrohamidjojo (2002), bila sinar inframerah dilewatkan melalui cuplikan senyawa organik, maka sejumlah frekuensi diserap sedangkan frekuensi yang lain diteruskan atau ditransmisikan. Sinar inframerah mempunyai energi yang rendah dengan bilangan gelombang antara $600\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ atau sekitar ($1,7 \times 10^{-3}\text{ cm}$ sampai dengan $2,5 \times 10^{-4}\text{ cm}$). Sinar inframerah hanya dapat menyebabkan vibrasi (getaran) pada ikatan baik berupa rentangan (*stretching*) maupun berupa bengkokan (*bending*) (Sitorus, 2009). Bila radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi dan terjadilah transisi diantara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat energi tereksitasi (*exited state*) (Hendayana, 1994). Skema kerjanya dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Skema kerja FT-IR (Dachriyanus, 2004).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan selama lima bulan pada bulan (Januari-Mei) 2019 bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Analisis gugus fungsi asap cair pelepah kelapa sawit menggunakan instrumen *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR) dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis komponen senyawa kimia asap cair pelepah kelapa sawit menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada.

Analisis dan karakterisasi struktur kristal CaCO_3 menggunakan instrumen *X-Ray Diffractometer* (XRD) dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh November. Analisis dan karakterisasi morfologi permukaan CaCO_3 menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di UPT Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (LTSIT) Universitas Lampung. Analisis dan karakterisasi distribusi ukuran partikel kristal CaCO_3 menggunakan instrumen *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Sentral Universitas Padjajaran.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu alat-alat gelas yang sering digunakan di laboratorium, *water bath* merek Thermoscientific AC 200/S21 *made in United Kingdom*, media gelas-gelas plastik, spatula, spinbar, *hot plate stirrer* merek Stuart CB 162 *made in United Kingdom*, oven merek Innotech *made in United State of America*, neraca analitik merek Airshwoth AA-160 *made in Japan*, pH meter merek 827 Metrohm *made in Swiss*, spektrofotometer FT-IR merek Cary 630 Agilent *made in Canada*, GC-MS merek Shimadzu GC2010 MSQP 2010S *made in Japan*, XRD merek Philip Analytical *made in Netherlands*, PSA merek Coulter LS 13320 *made in United State of America* dan SEM merek Carl Zeiss Evo MA10 *made in Canada*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu asap cair pelepah kelapa sawit, CaCl_2 anhidrat merek CRp Chemical Product *made in China*, Na_2CO_3 merek CRp Chemical Product *made in China*, akuades dan kertas saring.

C. Metode

1. Pembuatan Inhibitor

Inhibitor yang digunakan pada penelitian ini yaitu asap cair pelepah kelapa sawit diperoleh dari Politeknik Negeri Lampung (POLINELA). Asap cair ini dihasilkan dari proses pirolisis yaitu pembakaran tanpa menggunakan oksigen selama 6-8 jam dengan variasi konsentrasi 5, 15, 25 dan 35 %. Pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 5 % dilakukan dengan cara pengeceran larutan yaitu memasukkan 50 mL asap cair pelepah kelapa sawit ke dalam labu takar 1000 mL,

kemudian ditambahkan dengan akuades hingga tanda tera, lalu dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 15, 25 dan 35 %. Gugus fungsi yang terdapat pada asap cair pelepah kelapa sawit diperoleh dari analisis menggunakan FT-IR. Selain itu untuk mengetahui komponen senyawa kimianya diperkuat dengan analisis menggunakan instrumen GC-MS.

2. Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaCO_3

Tahapan untuk pengujian asap cair pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor dalam pertumbuhan kristal CaCO_3 dengan metode *unseeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut :

a. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan pertumbuhan 0,0250 M dibuat dari 0,050 M CaCl_2 anhidrat dan 0,050 M Na_2CO_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.

Selanjutnya, kedua larutan tersebut dicampurkan dan diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit dengan suhu 90°C agar terbentuk kerak CaCO_3 dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Campuran tersebut dimasukkan ke dalam 7 gelas plastik sebanyak masing-masing 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *water bath* pada suhu 90°C selama 75 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, gelas selanjutnya diambil setiap

selang waktu 10 menit). Kemudian dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring yang sebelumnya telah dioven dan ditimbang, lalu sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Percobaan ini diulang pada variasi konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0375; 0,0500 dan 0,0625 M. Endapan yang terbentuk ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk.

b. Penentuan Laju Pertumbuhan CaCO_3 dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan dan Konsentrasi Inhibitor yang Berbeda Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan pertumbuhan 0,0250 M dibuat dengan cara melarutkan 0,050 M CaCl_2 anhidrat dan 0,050 M Na_2CO_3 masing-masing dalam 200 mL asap cair 5 %. Masing-masing larutan diaduk hingga homogen pada suhu 90 °C selama 15 menit menggunakan pengaduk magnet di dalam gelas kimia untuk menghomogenkan larutan. Selanjutnya, kedua larutan tersebut dicampur dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter. Kemudian campuran tersebut dimasukkan ke dalam 7 gelas plastik sebanyak 50 mL. Setelah itu diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C, selama 75 menit (15 menit pertama satu gelas diambil, gelas selanjutnya diambil setiap selang waktu 10 menit). Selanjutnya larutan dalam gelas tersebut disaring menggunakan kertas saring yang telah dioven dan ditimbang sebelumnya, lalu sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 90 °C selama 3 jam. Padatan yang diperoleh ditimbang untuk mengetahui berat kristal yang terbentuk. Percobaan ini diulang dengan berbagai konsentrasi larutan pertumbuhan yaitu 0,0375; 0,0500 dan 0,0625 M serta pada variasi konsentrasi inhibitor yaitu 15, 25 dan 35 %.

D. Pengamatan

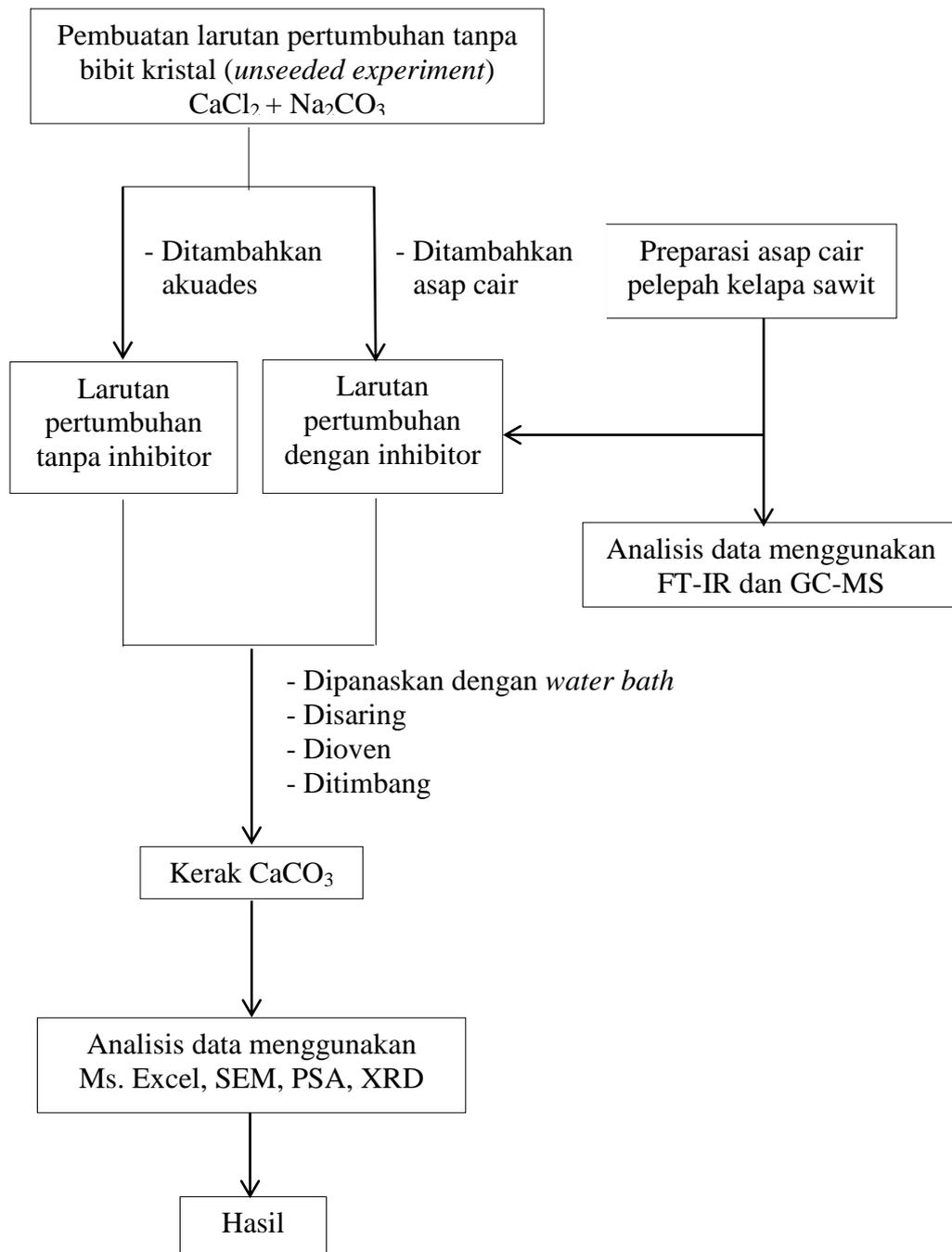
Data yang diperoleh pada penelitian ini berupa jumlah endapan terhadap waktu dengan berbagai konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing diplot sebagai jumlah endapan terhadap waktu menggunakan *Microsoft Excel*. Nilai yang diperoleh dari masing-masing grafik merupakan pertumbuhan kerak CaCO_3 . Data tersebut dapat digunakan untuk menghitung efektivitas asap cair pelepah kelapa sawit.

Asap cair pelepah kelapa sawit dianalisis menggunakan FT-IR untuk mengetahui gugus fungsinya dan GC-MS untuk analisis komponen senyawa kimianya.

Perubahan ukuran partikel kristal CaCO_3 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan instrumen PSA. Morfologi permukaan CaCO_3 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan instrumen SEM. Struktur kristal CaCO_3 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan instrumen XRD.

E. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini secara keseluruhan dirangkum dalam diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

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

1. Asap cair pelepah kelapa sawit mampu menghambat kerak CaCO_3 dengan cara menghambat laju pertumbuhan inti kristal CaCO_3 yang ditunjukkan dengan perbedaan nilai laju pertumbuhan, morfologi dan ukuran partikel kristal CaCO_3 .
2. Nilai persen efektivitas tertinggi diperoleh pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,0250 M dengan menggunakan inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit sebanyak 35 % dengan persentase 97,36 %.
3. Analisis menggunakan SEM menunjukkan bahwa terjadi perubahan morfologi kerak CaCO_3 , sebelum penambahan inhibitor kerak yaitu kristal fasa kalsit (kubus padat) dan aragonit (tumpukan jarum), serta setelah penambahan inhibitor kerak yang terbentuk yaitu kalsit (kubus padat yang rapuh) dan muncul fasa baru yaitu vaterit (bentuk bunga).
4. Analisis menggunakan PSA menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kerak CaCO_3 mengalami penurunan setelah ditambahkan inhibitor dapat

dilihat dari rata-rata (mean) yaitu dari 10,00 menjadi 6,522 μm dan nilai tengah (*median*) dari 9,35 menjadi 6,071 μm .

5. Analisis menggunakan XRD menunjukkan bahwa kerak CaCO_3 tanpa dan dengan inhibitor terjadi perbedaan fasa kristal dari kristal hardscale (kalsit) menjadi softscale (vaterit) yang ditunjukkan oleh puncak difraktogram 2θ .

B. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak lain selain CaCO_3 agar dapat meningkatkan mutu penelitian ini menggunakan asap cair pelepah kelapa sawit sehingga dapat diukur tingkat inhibisi dari asap cair pelepah kelapa sawit terhadap kerak lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aal, N. and Sawada, K. 2003. Inhibition of Adhesion and Precipitation of CaCO_3 by Aminopolyphosphonate. *Journal of Crystal Growth*. 256:188-200.
- Addicot, J. F., Aho, J.M., Antolin, M.F., Padilla, D.K., Richardson, J.S., and Soluk, D.A. 1987. Ecological Neighborhoods : Scaling Environmental Patterns. *Oikos*. 49:340-346.
- Alahmad, M. 2008. Factors Affecting Scale Formation in Sea Water Environments - an Experimental Approach. *Chemical Engineering and Technology*. 31(1):149-156.
- Al-Deffeeri, N. S. 2006. Heat Transfer Measurement as a Criterion for Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plants in Kuwait. *Desalination*. 204:423-436.
- Amjad, Z. 1988. Kinetics of Crystal Growth of Calcium Sulfate Dihydrate, The Influence of Polymer Composition, Molecular Weight and Solution pH. *Canadian Journal of Chemistry*. 66:1529.
- Anonim. Mass-spectrometry. 2017. Diakses 4 Desember 2018 pukul 13.20 WIB. http://www.slideshare.net/yusrizal_azmih/mass-spectrometry-53684224.
- Antony, A., Low, J.H., Gray, S., Childress, A.E., Le-Clech, P., and Leslie, G. 2011. Scale Formation and Control in High Pressure Membrane Water Treatment Systems. *Journal of Membrane Science*. 383:1-16.
- Asmawit dan Hidayati. 2016. Karakteristik Destilat Asap Cair dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Proses Redestilasi. *Jurnal Kementerian Perindustrian Republik Indonesia*. 12:8-14.
- Asnawati. 2001. Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibiitor Kerak pada Sumur Minyak. *Jurnal Ilmu Dasar*. 2(1):20-26.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017*. Badan Pusat Statistik Indonesia. Jakarta. 100 hlm.

- Badr, A. and Yassin, A. A. M. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *Journal of Applied Sciences*. 7(17):2393-2403.
- Baugh, P. J. 1993. Gas Chromatography: A Pratical Aproach. *Oxford University Press*. 11 pp.
- Bhatia, A. 2003. *Cooling Water Problems and Solutions*. Continuing Education and Development Inc. New York. 877 pp.
- Bragg, L., Phillips, D. And Lipson, H.S. 1975. *The Development of X-Ray Analysis*. George Bell and Sons. London. 270 pp.
- Bridgwater, A. V. 1999. Principles and Practice of Biomass Fast Pyrolysis Processes for Liquids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 51:3-22.
- Cahyadi, W. 2006. *Analisis dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Callister, W. D. Jr. and Rethwisch, D. G. 2009. Materials Science and Engineering an Introduction. *Eighth Edition*. United States of America.
- Chauhan, K., Sharma, P. and Chauhan, G.S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scales and Deposits*.701-719 pp.
- Cotton, F. A. and Wilkinson, G. 1989. *Advanced Inorganic Chemistry*. John Willey and Sons. New York. 1401 pp.
- Cowan, J.C. and Weintritt, D.J. 1976. *Water Formed Scale Deposit*. Gulf Publishing Co. Texas. 606 pp.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A. and King, G.1999. Fighting Scale-Removal and Prevention. *Oilfield*. 16 pp.
- Daintith, J. 1994. *Kamus Lengkap Kimia*. Erlangga. Jakarta.
- Davis, R.V., Carter, P.W., Kamrath, M.A., Johnson, D.A., and Reed, P.E. 1995. The Use of Modern Methods in The Development of Calcium Carbonate Inhibitors for Cooling Water Systems. *Mineral Scale Formation and Inhibition*. 33-46.
- Demirbas, A. 2005. Pyrolysis of Ground Wood in Irregular Heating rate Conditions. *Journal Analytical and Applied Pyrolysis*. 73:39-43.
- Demadis, K. D., Mavredaki, E., Stathouloupoulou, A., Neofotistou, E. and Mantzaridis, C. 2007. Industrial Water Systems : Problems, Challenges and Solutions for the Process Industries. *Desalination*. 213:38-46.

- Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian. 2006. *Pedoman Pengolahan Limbah Industri Sawit*. Departemen Pertanian. Jakarta. 83 hlm.
- Duccini, Y., Dufour, A., Harm, W.M., Sanders, T.W. and Weinstein, B. 2007. *High Performance Oilfield Scale Inhibitors*. Nace International. New Orleans. 27 pp.
- Gabriel, B.L. 1985. SEM: A User Manual of Material Science. *USA: American Society for Metal*. 37-44 pp.
- Haji, A. G. 2013. Komponen Kimia Asap Cair Hasil Pirolisis Limbah Padat Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9(3):109-116.
- Haklidir, F. T. and Haklidir, M. 2017. Fuzzy Control of Calcium Carbonate and Silica Scales in Geothermal Systems. *Geothermics*. 70:230-238.
- Halimatuddahlia. 2003. Pencegahan Korosi dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi. *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara. Medan. 8 hlm.
- Halipah, S. 2016. Pembuatan Nanokalsium dengan Metode Prsipitasi dari Limbah Cangkang Kerang Hijau (*Perna sp.*) dan Aplikasinya Sebagai Sediaan Anti Hipersensitivitas Dentin. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Handayani, A. dan Sitompul, A. S. 1996. Teknik Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM-EDAX. *Makalah Kunjungan dan Demo PTBIN BATAN*. Serpong.
- Hasson, D. and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. (46): 97-104.
- Hendayana, S. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. IKIP Semarang Press. Semarang. 259 hlm.
- Hollenbeck, C. M. 1977. Novel Concepts in Technology and Design of Machinery for Production and Application of Smoke in The Food Industry. *Pure and Applied Chemistry*. 49:1687-1702.
- Holysz, L., Szczes, A. and Chibowski, E. 2007. Effect of Carboxylic Acids on Water and Electrolyte Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. 316:65-1002.
- Irianty, R.S. dan Komalasari. 2013. Ekstraksi Daun Gambir Menggunakan Pelarut Metanol-Air Sebagai Inhibitor Korosi. *Jurnal Teknobiologi*. 4(1):7-13.
- Irianty, R. S 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.

- Jones, F., Oliveira, A., Rohl, A., Ogden, M., and Parkinson, G. 2006. Understanding The Mechanism By Which Nitrilotriacetic Acid Interacts with Precipitating Barium Sulfate. *Cryst. Eng. Comm.* 8:869-876.
- Kemmer, F. N. 1979. *The Nalco Water Hand Book*. Mc Graw-Hill Book CO. New York. 750 pp.
- Khor, K. H., Lim, K.o. and Zainal, Z. A. 2009. Characterization of Bio-oil ; A By-Product From Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches. *American Journal of Applied Sciences*. 6(9):1647-1652.
- Knepper, T.P. 2003. Synthetic Chelating Agents and Compounds Exhibiting Complexing Properties in The Aquatic Environment. *TRAC-Trend Anal. Chem.* 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. *Expanding Issues Desalination*. InTech Publishers. 339-371 pp.
- Kołodynska, D., Z. Hubicki and M. Geca. 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., W. G. Sanderson and R. B. Sumner. 1981. *Waste Heat Disposal Process*. Mc Graw-Hill Book CO. New York. 550 pp.
- Kroschwitz, J. T. 1990. *Polymers : Polymer Characerization and Analysis*. John Wiley and Sons. Toronto. 957 pp.
- Kurniawan, Y.H. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Leofanti, G. 1997. Catalyst Characterization. *Applications Catalysis*. 34:329-352.
- Lestari, D. E., Sunaryo, G.R., Yulianto. Y.E., Alibasyah, S. dan Utomo, S.B. 2004. *Kimia Air Reaktor Riset G. A. Siwabessy*. (Makalah Penelitian P2TRR dan P2TKN BATAN). Serpong. 3 hlm.
- Luditama, C. 2006. Isolasi dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar Tempurung Kelapa Secara Pirolisis dan Destilasi. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian. Bogor.

- Ma, H., Chen, S., Zhao, S., Liu, X. and Li, D. 2001. A Study of Corrosion Behaviour of Copper in Acidic Solutions Containing Cetyltrimethylammonium Bromide. *Journal of The Electrochemical Society*. 148(11):482-488.
- Maley, M. 1999. Inhibitor of Calcite Nucleation and Growth Using Phosphonate. *Tesis*. Curtin University of Technology Western Australia. Australia. 43 pp.
- 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.
- Muryanto. 2012. Enkapsulasi *Rhizopus oryzae* dalam kalsium-alginat untuk produksi bioethanol dari tandan kosong kelapa sawit. *Tesis*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Pardamean, M. 2008. *Panduan Lengkap Pengelolaan Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit*. Agromedia Pustaka. Jakarta. 226 hlm.
- Patton, C. 1981. *Oilfield Water System 2nd Edition*. Campbell Petroleum. Kanada. 252 pp.
- Pszczola, D. E. 1995. Tour Highlights Production and uses of Smoke-based Flavors. *Food Technology*. 49:70.
- Rahmalinda, Amri dan Zutiniar. 2014. Studi Komparasi Karakteristik Asap Cair Hasil Pirolisis dari Kulit Durian, Pelepah dan Tandan Kosong Sawit dengan Pemurnian Secara Desilasi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Bina Widya*. 1(1):9.
- Reinecke, F., Groth, T., Heise, K.P., Joentgen, W., Müller, N., and Steinbüchel, A. 2000. Isolation and Characterization of an *Achromobacter xylosoxidans* Strain B3 and Other Bacteria Capable to Degrade The Synthetic Chelating Agent Iminodisuccinate. *FEMS Microbiol. Lett.* 188:41-46.
- Richardson, J. T. 1989. Principles of Catalyst Development. *Plenum Press*. New York and London. 171 pp.
- Salimin, Z. dan Gunandjar. 2007. Penggunaan EDTA Sebagai Pencegah Timbulnya Kerak Pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair. *Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR*. 8 hlm.
- Sastrohamidjojo, H. 2002. *Kromatografi*. Liberty Yogyakarta. Yogyakarta. 298 hlm.
- Saukani, M., Arifin, J., Ihsan, S. dan Syahrillah, G.R.F. 2017. Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit dalam Pembuatan Asap Cair di Desa Jejangkit, Barito Kuala. *Jurnal Al-Ikhlâs*. 2:5.

- Sitorus, M. 2009. *Spektroskopi Elusidasi Struktur Molekul Organik*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 298 hlm.
- Skoog, D. A. and Leary, J. J. 1992. Principles of Instrumental Analysis. *J. Chem. Educ.* 69(8):A224.
- Smallman, R. E. dan Bishop, R.J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Erlangga. Jakarta. 479 hlm.
- 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. *Chem. Eng. Sci.* 61:7057-7067.
- Suharso, Buhani and T. Suhartati. 2009. The Role Of C-Methyl-4,10,16,22 Tetramethoxy Calix[4]Arene As Inhibitor Of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Indonesian Journal Chemistry.* 9(2):206-210.
- Suharso, Buhani, S. Bahri and T. Endaryanto. 2011. Gambier Extracts as an Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Desalination.* 265:102-106.
- Suharso, Buhani dan L. Aprilia. 2013. Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Prosiding Semirata FMIPA UNILA*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 9 hlm.
- Suharso dan Buhani. 2015. *Penanggulangan Kerak*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. Bandar Lampung. 58 hlm.
- Suharso, Buhani dan Tugiono. 2015. Pembuatan Senyawa Turunan Kaliksarena untuk Inhibitor Kerak Material Anorganik. *Prosiding Semirata 2015 Bidang MIPA BKS-PTN Barat*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. 197-206.
- Suharso, T. Reno, T. Endaryanto and Buhani. 2017a. Modification of Gambier Extracts as Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering.* 18:1-6.
- Suharso, Buhani, S. D. Yuwono and Tugiyono. 2017b. Inhibiton of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment.* 68:32-39.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Kalman Media Pustaka. Jakarta. 315 hlm.
- Tipler, P. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid I*. Erlangga. Jakarta. 744 hlm.

- Torres, S.N.C. 2005. Improved Detection of TNT using SPME- TEEM-GC/MD Mode Immersion in Water dan Soil. *Thesis Master of Science*. University of Puerto Rico. Mayaguez Campus. 1-107.
- Tovina, H. 2009. Sintesis Nanozeolit Tipe Faujasite dengan Teknik *Seeding* yang Ditumbuhkan pada Permukaan *Glassy Karbon*. *Skripsi*. Departemen Kimia FMIPA Universitas Indonesia. Depok. 63 hlm.
- 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 Corros. *Corrosion Sciences*. 43:1197-1202.
- Webb, P.A. 2002. *Interpretation of Particle Size Reported by Different Analytical Technique*. Diakses melalui www.micromeritics.com. Pada tanggal 10 November 2018 Pukul 20.00 WIB.
- Zhang, K., Sun, M., Werner, P., Kovera, A. J., Albu, J., Pi-Sunyer, F. X., and Boozer, C.N. 2002. Sleeping Metabolic Rate in Relation to Body Mass Index and Body Composition. *International Journal of Obesity*. 26:376-383.