

STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* J.) SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE *UNSEEDED EXPERIMENT*

(Skripsi)

Oleh

NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH



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

ABSTRAK

STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* J.) SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE *UNSEEDED EXPERIMENT*

Oleh

NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH

Permasalahan pada sebagian besar industri yang ada di Indonesia terutama industri minyak dan gas adalah terjadinya penumpukan kerak pada pipa. Oleh karena itu, dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit pada kerak kalsium sulfat (CaSO_4) menggunakan metode *unseeded experiment* pada variasi konsentrasi larutan pertumbuhan CaSO_4 sebesar 0,025; 0,038; 0,050; dan 0,063 M serta variasi penambahan inhibitor dari 5, 15, 25 dan 35 %. Efektivitas tertinggi terjadi pada konsentrasi larutan pertumbuhan kristal CaSO_4 0,025 M dan konsentrasi inhibitor yang ditambahkan 25 %, diperoleh persen efektivitas sebesar 54,72 %. Berdasarkan analisis menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dan *x-ray diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa kristal CaSO_4 tanpa penambahan inhibitor berukuran besar, lebar, padat dan panjang seperti batang serta terdiri dari fase gipsum dan basanit sedangkan dengan penambahan inhibitor, kristal CaSO_4 berukuran lebih kecil, panjang seperti batang dan terdapat sedikit yang berbentuk seperti serabut serta terdiri dari kristal fase gipsum, basanit dan sedikit anhidrit. Analisis kuantitatif menggunakan *particle size analyzer* (PSA) menunjukkan bahwa distribusi ukuran partikel kristal CaSO_4 dengan penambahan inhibitor menjadi lebih kecil daripada tanpa penambahan inhibitor dengan nilai rata-rata (*mean*) ukuran partikel dari 29,68 menjadi 16,26 μm . Dengan demikian, asap cair pelepah kelapa sawit dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan kerak CaSO_4 .

Kata kunci : Asap cair pelepah kelapa sawit, CaSO_4 , kerak, inhibitor

ABSTRACT

STUDY OF ADDITION LIQUID SMOKE FROM OIL PALM MIDRIB (*Elaeis guineensis* J.) AS INHIBITOR OF CALCIUM SULFATE (CaSO₄) SCALE USING UNSEEDED EXPERIMENT METHOD

By

NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH

The problem on several industries in Indonesia, especially on oil and gas industry is the occurrence of scaling deposit on the pipe. Therefore, in this research, the liquid smoke of oil palm midrib was tested as an inhibitor to inhibit calcium sulfate (CaSO₄) scale formation by using the unseeded experiment method in the variation concentration of CaSO₄ growth solutions of 0.025; 0.038; 0.050; and 0.063 M with variation concentration of inhibitors from 5, 15, 25 and 35%. The highest effectiveness occurred at the concentration of CaSO₄ crystal growth solution 0.025 M with the addition of 25 % inhibitor, with effectiveness percent of 54.72 %. Based on analysis using scanning electron microscopy (SEM) and x-ray diffraction (XRD) showed that CaSO₄ crystals without the addition of inhibitor are large, wide, dense and long (like a stem) and consisted of gypsum and basanite phases while with the addition of inhibitor, CaSO₄ crystals are smaller, long (like a stem) and there is a little that is shaped like a fiber and consisted of gypsum, basanite and slightly anhydrite crystal phases. Quantitative analysis using a particle size analyzer (PSA) showed that the particle size distribution of CaSO₄ crystals with the addition of inhibitor became smaller than without the addition of inhibitor with mean value from 29.68 to 16.26 μm. Thus, the liquid smoke of oil palm midrib can be used to inhibit the growth of CaSO₄ scale.

Keywords: Liquid smoke of oil palm midrib, CaSO₄, scale, inhibitor

STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* J.) SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE *UNSEEDED EXPERIMENT*

Oleh

NADYA SYARIFATUL FAJRIYAH

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS

Pada

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



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

Judul Skripsi : **STUDI PENAMBAHAN ASAP CAIR PELEPAH
KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* J.)
SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIMUM
SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE
*UNSEDED EXPERIMENT***

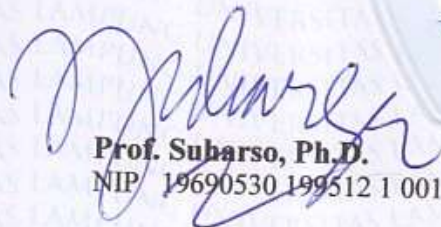
Nama Mahasiswa : **Nadya Syarifatul Fajriyah**


No. Pokok Mahasiswa : 1517011133

Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




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


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

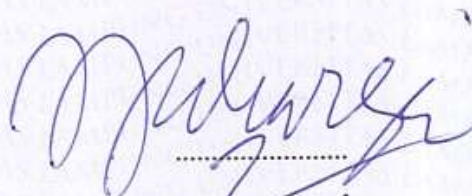
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


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

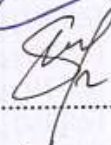
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

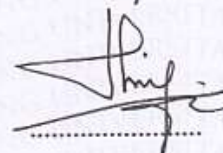
Ketua : **Prof. Suharso, Ph.D.**



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



Penguji
Bukan Pembimbing : **Syaiful Bahri, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



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

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

PERNYATAAN

Nama : Nadya Syarifatul Fajriyah

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517011133

Program Studi : Kimia

Jurusan : Kimia

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul Studi Penambahan Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* J.) sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment* ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Oktober 2019
Yang Menyatakan



Nadya Syarifatul Fajriyah
NPM 1517011133

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Nadya Syarifatul Fajriyah dilahirkan di Punggur pada tanggal 16 Juli 1997, merupakan anak bungsu dari dua bersaudara dari pasangan bapak Ma'ruf dan ibu Sri Wahyuni WIG. Penulis menyelesaikan pendidikan di TK pada tahun 2003. Menyelesaikan pendidikan di SDN 1 Purworejo pada tahun 2009, SMPN 2 Kotagajah pada tahun 2012, dan SMAN 1 Kotagajah pada tahun 2015. Saat SMA penulis mengikuti organisasi Dedikasi Siswa Inspiratif (DIKSI) dan kemudian aktif dalam organisasi Karya Ilmiah Remaja (KIR). Penulis terdaftar sebagai mahasiswi di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam pada tahun 2015 melalui jalur ujian tertulis Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa kimia, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Anorganik 1 angkatan 2017. Selain itu, penulis pernah mengikuti program *Student Exchange* FMIPA Universitas Lampung (Unila) ke Universiti Putra Malaysia (UPM) pada tahun 2019. Penulis juga mengikuti aktivitas organisasi Kader Muda Himaki (KAMI) tahun 2015. Penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA periode 2016/2017 dan 2017/2018 sebagai anggota Bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK). Penulis juga aktif dalam kegiatan sosial Lampung Berbagi Tahun 2018-2019.

Tahun 2018 penulis telah menyelesaikan praktik kerja lapangan (PKL) yang berjudul Studi Penambahan Asap Cair Pelepah Sawit *Grade 3* sebagai Inhibitor Kerak CaSO_4 Menggunakan Metode *Unseeded Experiment* di Laboratorium Anorganik / Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Negara Ratu, Kecamatan Batanghari Nuban, Lampung Timur pada Juli-Agustus 2018.

MOTTO

**“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Q.S. Al-Baqarah, 286)**

**“Berusahalah, berusahalah, berusahalah lalu berdo’a, karena Allah tidak akan merubah nasib kita kecuali kita berusaha untuk mengubahnya”
(Nadya Syarifatul Fajriyah)**

**“Aku sesuai persangkaan hamba-Ku. Aku bersamanya ketika ia mengingat-Ku. Jika ia mengingat-Ku saat bersendirian, Aku akan mengingatnya dalam diri-Ku. Jika ia mengingat-Ku di suatu kumpulan, Aku akan mengingatnya di kumpulan yang lebih baik daripada pada itu (kumpulan malaikat)”
(H.R. Bukhari, no. 6970 dan Muslim, no. 2675)**

**“you can’t always choose who comes into your life but you can learn what lesson they teach you”
(C. V. Raman)**

**“The more I study science the more I believe in God”
(Albert Einstein)**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

***Alhamdulillahilahi rabbil 'alamin, segala puji bagi Allah SWT tuhan semesta alam
Kupersembahkan skripsi ini kepada :***

***Kedua orang tuaku, dan semua kerabat dekatku yang selalu
memberikan do'a, kasih sayang, semangat, materi, dan kepercayaan
untuk keberhasilanku***

***Dengan rasa hormat kepada Prof. Suharso, Ph.D., Prof. Dr. Buhani,
M.Si., Syaiful Bahri, M.Si., Prof. Dr. Rudy T. Mangapul S., M.Sc. serta
seluruh Dosen Jurusan Kimia yang telah membimbing dan memberikan
ilmu yang bermanfaat selama menempuh pendidikan 4 tahun di
kampus***

***Sahabat dan teman-temanku yang telah memberikan pengalaman,
kebahagiaan, keceriaan serta kebersamaan***

Dan almamater tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA



Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, karunia serta ridhonya yang tiada batas sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi yang berjudul “**Studi Penambahan Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* J.) sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4)**

Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada baginda Rasullallah Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta seuruh umatnya yang selalu taat mengamalkan ajarannya.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu mendengarkan do'a dan mengabulkan do'a penulis selama ini. Terimakasih telah melindungi hamba selama pembuatan skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya;
2. Kepada kedua orang tua penulis Bapak Ma'ruf dan Ibu Sri Wahyuni WIG tercinta. Terimakasih atas segala do'a, dukungan, kasih sayang, nasihat, kerja keras, motivasi, dan materi untuk keperluan kuliah dan sekolah penulis.

Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanan yang telah dilakukan untukku.
Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan, kesehatan dan rezeki
untuk ayah dan ibu, aamiin;

3. Prof. Suharso, Ph.D. selaku Pembimbing I yang telah bersedia membimbing penulis dan banyak memberikan bimbingan, gagasan, dukungan, bantuan, keikhlasan, kesabaran, dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan bapak dan diberikan yang terbaik dalam urusan dunia dan akhirat;
4. Prof. Dr. Buhani, M.Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi, kritik, saran, nasihat dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan ibu;
5. Bapak Syaiful Bahri, M.Si. selaku pembahas atas segala masukan, bimbingan, nasihat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga selalu dalam lindungan Allah SWT dan dibalas segala kebaikannya;
6. Prof. Dr. Rudy T. Mangapul S., M.Sc. selaku pembimbing akademik, penulis ucapkan terimakasih atas ketersediaannya memberikan bimbingan perkuliahan selama 4 tahun ini hingga penulis menyelesaikan skripsi;
7. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;
8. Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung;

9. Seluruh dosen Kimia FMIPA Unila atas segala ilmu, pengalaman, motivasi dan nasihat selama perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan Ibu;
10. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas dukungan dan bantuan kepada penulis;
11. Mbak liza dan pak gani atas penyediaan alat di laboratorium dan kemudahan dalam mengurus berkas setiap akan seminar, semoga selalu di berkahi oleh Allah SWT;
12. Kakakku Al'um Anis yang telah memberikan saran, dukungan, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi;
13. Intan, Icil, Dian, dan Ijem yang telah menemani di kosan griya selama 2 tahun, disaat susah senang di kosan, tetap semangat teman-temanku dan jangan lupa kita pernah belajar bersama, makan bersama, masak bersama, tidur bersama, ngerumpi bersama, lembur bersama, hangout bersama dan masih banyak lagi, semoga kita selalu dalam lindungan Allah SWT dan menjadi orang-orang sukses yang di ridhoi Allah SWT;
14. Mona dan Desy atas kebersamaannya di semester-semester akhir, saling membantu sama lain, memberikan insipirasi, motivasi, semangat serta masukan hingga penulis menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas waktu yang kalian berikan untuk bersama dengan penulis dikala senang maupun susah, *see you on top*;
15. Intan, Sribud, Alifa, Aulia, Widya, Meitri, Nurmala, Dira, dan Yanti, terimakasih atas kebersamaannya dan sudah menemani penulis selama berada di kelas C, grup yang tiba-tiba dibuat seperti kelompok belajar ini sangat

membantu dalam ujian dan tugas selama perkuliahan. Terimakasih atas segala kebaikan kalian, semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian;

16. Ayu, Mutia, Rahma, Luthfi, dan Icha, *thank you for the kindness for having me as a friend for so long, we just separated each other but we still have each other, see you on top, love you guys, God Bless Us*;
17. Suharso's *research* Sribud, Alifa, Ayudina, Fatma dan Widya, terimakasih untuk kalian yang telah memberikan bantuan, dukungan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
18. Teman-teman selaboratorium di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Ayudina, Sribud, Fatma, Widya, Alifa, Desy, Eka, Risyda, Icil, Naina, Tri Julianti, Dwi, Miranda, Ade, Tri Handayani, Yanti, Reni, Dinda, Lia, Mona, Aji, Tari, Hani, dan Asti yang telah menemani selama penelitian;
19. Puput dan ayum yang menemani selama 1 tahun di kosan eyang. Terimakasih atas kebersamaan, semangat, bantuan dan dukungan meskipun sudah tidak tinggal di satu tempat lagi;
20. Kakak *scale* Kak Yusuf, Kak Fikri, Mbak Uci, Kak Hafid, dan Mbak Reni yang selalu memberikan bantuan, dukungan dan semangat sampai skripsi ini selesai dan semangat terus untuk adik-adik *scale* Deni, Ape, Amanda, dan Ola maju terus pantang mundur;
21. Desy, Alifa, Ellen, Vega, Winda, Shoffi, Mutia, Irsyad, Irham, Mba.Ulfa, Mba.Indri, dan Naura yang saling menemani dan membantu selama berada di Malaysia sampai di Lampung. Pengalaman bersama kalian tidak akan terlupakan, semoga lain waktu kita bisa pergi bersama ke Negeri tetangga lagi;

22. Teman-teman lampung berbagi karena memberikan pengalaman luar biasa dalam membantu sesama yang sedang dalam kesulitan, penulis bangga menjadi bagian dari lampung berbagi, tetap lanjutkan melakukan kebaikan sekecil apapun itu;
23. Keluarga besar kimia angkatan 2015, terimakasih atas kebersamaan, keceriaan dan kebahagiaan mulai dari mahasiswa baru sampai pada penulis menyelesaikan skripsi ini. Semoga kita selalu dalam lindungan Allah SWT dan dimudahkan segala urusan baik di dunia maupun di akhirat;
24. Senior dan junior dari berbagai angkatan, terimakasih atas pengalaman, bantuan, kerjasama dan kekeluargaan di kimia, hidup akan semakin indah ketika kita berdampingan tanpa memandang status;
25. *Partner* KKN : Ade, Rully, Citra, Fauzhan, dan Doni terimakasih untuk kebersamaan dan kekeluargaan selama 40 harinya;
26. Almamater tercinta Universitas Lampung;
27. Semua pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu. Terimakasih atas segala bantuan, dukungan, semangat serta do'a yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;

Bandar Lampung, Oktober 2019

Nadya Syarifatul Fajriyah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian.....	5
C. Manfaat Penelitian.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pembentukan Endapan Senyawa Anorganik.....	6
B. Kerak	7
C. Kalsium Sulfat (CaSO ₄)	9
D. Pembentukan Kristal	11
E. Faktor Pembentukan Kerak	16
1. Kualitas Air	16
2. Temperatur Air	16
3. Laju Alir Air	17
F. Dampak Terbentuknya Kerak	17
G. Pencegahan Pembentukan Kerak CaSO ₄	18
1. Pengendalian pH.....	19
2. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air.....	19
3. Penggunaan Inhibitor Kerak.....	20
H. Mekanisme Pelarutan dan Penghambatan	23
1. Inhibisi <i>Threshold</i>	23
2. Kelat	24
3. Distorsi Kristal	25
4. Dispersi Kristal.....	25
I. Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit.....	27
J. Metode Pertumbuhan Kristal.....	31
K. Analisis menggunakan FT-IR, GC-MS, SEM, XRD, dan PSA	31
1. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FT-IR).....	32

2. <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	33
3. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	34
4. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	36
5. <i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	38

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	40
B. Alat dan Bahan.....	40
C. Prosedur Penelitian	41
1. Pembuatan Asap Cair Pelepah Sawit	41
2. Preparasi Inhibitor	42
3. Pengujian Asap Cair sebagai Inhibitor dalam Pengendapan Kristal CaSO ₄	42
a) Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO ₄ Tanpa Inhibitor pada Konsentrasi larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	42
b) Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO ₄ dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	43
D. Analisis Data	44
E. Diagram Alir Penelitian	45

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Gugus Fungsi Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit <i>Grade 3</i> menggunakan FT-IR	46
B. Identifikasi Komponen Senyawa Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit <i>Grade 3</i> menggunakan <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS)	49
C. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ Tanpa Inhibitor dengan Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan menggunakan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	52
D. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	54
1. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,025 M.....	55
2. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,038 M.....	58
3. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,050 M.....	60
4. Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor pada Larutan Pertumbuhan 0,063 M.....	61
E. Perbandingan Larutan Pertumbuhan CaSO ₄	64
F. Analisis Permukaan Kerak CaSO ₄ dengan SEM	66
G. Analisis Struktur Kristal CaSO ₄ menggunakan XRD.....	68
H. Analisis Distribusi Ukuran Partikel Kerak CaSO ₄ dengan PSA.....	70
I. Mekanisme Penghambatan Kerak CaSO ₄ oleh Inhibitor	73

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan.....	74
B. Saran	75

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kerak yang umum dijumpai pada ladang minyak.....	9
2. Kandungan senyawa pada hasil pirolisis asap cair pelepah kelapa sawit.....	30
3. Gugus fungsi asap cair pelepah kelapa sawit <i>grade</i> 3 hasil analisis FT-IR.....	48
4. Komponen-komponen asap cair pelepah kelapa sawit.....	50
5. Nilai pH variasi konsentrasi inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit	54
6. Nilai pH larutan pertumbuhan CaSO_4 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor	55
7. Data persentase efektivitas inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,025 M	57
8. Data persentase efektivitas inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,038 M	59
9. Data persentase efektivitas inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M	61
10. Data persentase efektivitas inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,063 M.....	62
11. Data persentase efektivitas inhibitor pada konsentrasi 25 %	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerak pada pipa geotermal.....	8
2. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan.....	12
3. Proses pembentukan kristal.....	13
4. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air.....	13
5. Diagram pembentukan inti kristal.....	15
6. Mekanisme inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kristal.....	21
7. Reaksi hidrolisis polifosfat.....	22
8. Mekanisme penghambatan kerak.....	26
9. Asap cair pelepah kelapa sawit hasil pirolisis.....	29
10. Skema instrumentasi SEM.....	35
11. Morfologi kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,050 M (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor 350 ppm pada perbesaran 2000x.....	36
12. Difraktogram CaSO_4 (a) tanpa inhibitor (b) dengan inhibitor.....	37
13. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf.....	39
14. Diagram alir penelitian.....	45
15. Spektrum IR asap cair pelepah kelapa sawit.....	47
16. Kromatogram asap cair pelepah kelapa sawit.....	49

17. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kristal CaSO_4 dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan	53
18. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,025 M.....	56
19. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,038 M.....	58
20. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M.....	60
21. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan inhibitor pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,063 M.....	62
22. Perbandingan larutan pertumbuhan 0,038 M (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor pada konsentrasi 25 %	65
23. Kristal kerak CaSO_4 0,038 M tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor (b) asap cair pelepah kelapa sawit sebesar 25 %	65
24. Morfologi kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,038 M dengan perbesaran 2500x tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor sebesar 25 %	66
25. Morfologi kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,038 M dengan perbesaran 5000x tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor sebesar 25 %	67
26. Difraktogram CaSO_4 tanpa penambahan dan dengan penambahan inhibitor.....	69
27. Distribusi ukuran partikel CaSO_4	71

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagian besar industri di Indonesia menggunakan pipa sebagai aliran fluida, salah satunya yakni industri minyak dan gas. Pergerakan yang terjadi selama aliran tersebut mengalir dalam pipa dapat menjadi masalah yang serius karena semakin lama akan menimbulkan penumpukan kerak. Penumpukan kerak dalam peralatan industri menyebabkan berkurangnya efisiensi dan diameter pipa sehingga proses aliran fluida menjadi sempit dan proses produksi terganggu. Terhambatnya aliran fluida menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan rusak bahkan pecah (Asnawati, 2001). Salah satu industri minyak terbesar di Indonesia (Pertamina, Tbk) menghabiskan 6-7 juta dolar atau setara dengan 80-100 miliar rupiah untuk mengganti setiap pipa pada bagian geotermal setiap 10 tahun untuk mengatasi masalah kerak (Suharso *et al.*, 2010; Suharso *et al.*, 2014; Suharso *et al.*, 2017; Suharso *et al.*, 2017a). Sehingga diperlukan penanganan yang tepat supaya dapat mengurangi dampak kerugian dari permasalahan kerak.

Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu

substrat (Syahri dan Sugiarto, 2008). Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut diantaranya kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, temperatur, dan kehadiran pengotor zat aditif (Muryanto dkk., 2012). Adapun beberapa komponen kerak yang biasa dijumpai pada peralatan industri yaitu kalsium karbonat (CaCO_3), kalsium dan seng fosfat, kalsium sulfat (CaSO_4), serta silika dan magnesium silikat (Lestari dkk., 2004).

Pembentukan kerak dapat menimbulkan kerugian, maka pembentukan kerak harus dicegah pertumbuhannya atau paling tidak pertumbuhan kerak dapat dihambat. Usaha untuk menekan pertumbuhan kerak bisa dilakukan dengan pengolahan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan kerak serta dengan penambahan zat aditif. Beberapa metode untuk mencegah terbentuknya kerak pada peralatan-peralatan industri adalah pengendalian pH, pelunakan dan pembebasan mineral air padatan. Namun menghilangkan kerak menggunakan metode pengendalian pH dinilai kurang efektif karena dapat meningkatkan laju korosi dan konduktivitas serta penanganannya yang cukup berbahaya (Lestari, 2008). Sedangkan metode pelunakan dan pembebasan mineral membutuhkan biaya yang cukup tinggi dalam industri-industri besar (Halimatuddahlia, 2003). Metode lain yang dapat digunakan untuk menghambat kerak yakni dengan penggunaan atau penambahan inhibitor (Suharso *et al.*, 2011).

Metode penambahan inhibitor merupakan metode yang menarik untuk dikembangkan lebih lanjut karena biayanya relatif lebih murah dan memiliki

efektifitas yang lebih tinggi (Asnawati, 2001) serta dapat mencegah kerak dalam periode yang lama (Cowan *and* Weintritt, 1976). Dalam pemilihan jenis inhibitor kerak perlu diperhatikan beberapa hal seperti keefektifan, kestabilan, kecocokan dan biaya. Sifat dari inhibitor kerak yang sangat diharapkan yakni stabil dalam air pada waktu yang panjang dan temperatur yang tinggi (Patton, 1981).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pertumbuhan kerak dapat dihambat dengan menggunakan inhibitor yang berasal dari tanaman yang ada di sekitar kita seperti tanaman gambir, kemenyan dan kelapa. Tanaman gambir yang memiliki kandungan senyawa kimia asam tanat, katekin, dan kuarsetin dapat digunakan sebagai inhibitor pertumbuhan kerak dengan efektivitas inhibitor yang mencapai 57,47 % pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,1 M dengan konsentrasi inhibitor 250 ppm (Suharso *et al.*, 2010). Kemenyan yang memiliki kandungan asam sinamat dan benzoat dapat digunakan sebagai inhibitor pertumbuhan kerak dengan efektivitas inhibitor sebesar 45,60 % pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan konsentrasi inhibitor 250 ppm (Suparwaty, 2016). Tanaman kelapa pada bagian tempurung kelapa diolah menjadi asap cair *grade* 3 yang memiliki kandungan asam asetat dapat digunakan sebagai inhibitor pertumbuhan kerak dengan efektivitas inhibitor mencapai 177 % pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan konsentrasi inhibitor 350 ppm menggunakan metode *seeded experiment* (Anggraeni, 2018).

Pada penelitian ini digunakan inhibitor kerak yang berasal dari tanaman

kelapa sawit. Hal ini dikarenakan banyaknya tanaman kelapa sawit yang ada di Indonesia yakni dengan luas areal perkebunan 12,30 juta Ha pada tahun 2017 (Subdirektorat Statistik Tanaman Perkebunan, 2018). Pada umumnya kelapa sawit hanya digunakan untuk memproduksi minyak kelapa sawit, namun pada bagian pelepahnya belum dimanfaatkan dan hanya menjadi limbah. Sehingga pada penelitian ini pelepah dari tanaman kelapa sawit digunakan untuk menghambat pertumbuhan kerak. Pelepah kelapa sawit diolah menjadi asap cair *grade 3* secara pirolisis dan memiliki kandungan senyawa asam asetat sebesar 52,19 % (Rahmalinda dkk, 2014). Asap cair *grade 3* dipilih sebagai inhibitor pertumbuhan kerak kalsium sulfat dikarenakan biayanya yang relatif lebih murah tanpa melalui proses pemurnian dibandingkan dengan *grade 2* dan *grade 1*. Senyawa asam asetat yang terkandung di dalam asap cair memiliki gugus -COOH yang dapat mengikat ion Ca^{2+} sehingga dapat menghambat pertumbuhan kristal yang biasanya tumbuh sangat teratur. Oleh karena itu, diharapkan asap cair pelepah kelapa sawit *grade 3* mampu untuk menjadi inhibitor yang efektif dalam menghambat laju pertumbuhan kerak.

Dalam penelitian ini digunakan metode *unseeded experiment* untuk mengetahui keefektifan inhibitor dalam menghambat pembentukan kerak kalsium sulfat. Pada metode *unseeded experiment* tidak perlu menambahkan bibit kristal ke dalam larutan sehingga lebih mudah mengamati pertumbuhan kristal CaSO_4 karena laju pertumbuhan inti kristal tidak terlalu cepat dibandingkan metode *seeded experiment* (Utari, 2016). Selanjutnya dilakukan analisis terhadap kristal CaSO_4 yang terbentuk antara lain, untuk mengetahui

perubahan morfologi digunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), untuk mengetahui jenis kristal yang terbentuk digunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) sedangkan analisis distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mempelajari pengaruh penambahan asap cair dari pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor kalsium sulfat (CaSO_4) pada konsentrasi yang bervariasi.
2. Mengetahui keefektifan asap cair pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor kalsium sulfat (CaSO_4) dengan metode *unseeded experiment* melalui analisis data dan karakterisasi menggunakan SEM, XRD dan PSA.

C. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kemampuan asap cair dari pelepah kelapa sawit dalam menghambat pertumbuhan kerak CaSO_4 yang kemudian dapat dikembangkan sebagai inhibitor kerak yang efektif sehingga dapat mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh pembentukan kerak tersebut pada peralatan industri-industri besar maupun kecil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembentukan Endapan Senyawa Anorganik

Air mempunyai batas kemampuan dalam menjaga senyawa ion-ion yang terlarut di dalamnya tetap dalam larutan, sehingga pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu, dimana harga kelarutan akan terlampaui, maka senyawa tersebut tidak akan terlarut lagi, melainkan terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padatan atau biasa disebut dengan endapan. Perubahan kelarutan dapat terjadi seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama reaksi berlangsung. Perubahan angka kelarutan pada tiap zat terlarut dalam sistem air akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air formasi, sehingga akan terjadi reaksi kimia antara ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dengan membentuk senyawa endapan yang berupa kristal (Sari, 2011).

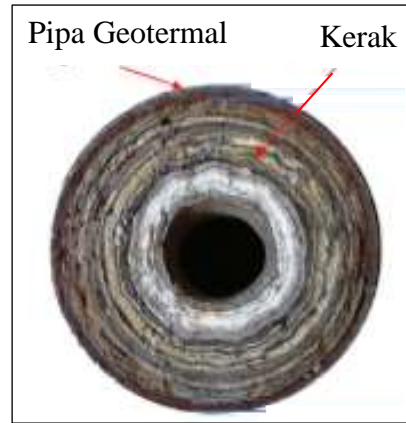
Endapan didefinisikan sebagai bentuk kristal keras yang menempel pada permukaan dimana proses penghilangannya dapat dilakukan dengan cara dibor atau didril. Endapan yang berasal dari larutan akan terbentuk karena proses penurunan kelarutan pada kenaikan temperatur operasi dan kristal padat melekat erat pada permukaan logam (Asnawati, 2001).

Endapan berupa senyawa-senyawa anorganik biasa terjadi pada peralatan-peralatan industri yang melibatkan air garam seperti proses desalinasi dan ketel, pada industri minyak dan gas, serta industri kimia. Hal ini disebabkan oleh adanya unsur-unsur anorganik pembentuk kerak seperti ion kalsium (Ca^{2+}) dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada kondisi penurunan tekanan maupun perubahan suhu secara tiba-tiba, sehingga menyebabkan terjadinya endapan garam yang menumpuk pada dinding-dinding peralatan industri. Terakumulasinya endapan-endapan senyawa anorganik tersebut dapat menimbulkan masalah seperti pengerakan (Weijnen *et al.*, 1983; Amjad, 1988).

B. Kerak

Kerak adalah suatu deposit keras dari senyawa anorganik yang sebagian besar terjadi pada permukaan peralatan penukar panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air (Bhatia, 2003). Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh. Dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal yang kemudian akan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuk kerak (Lestari, 2008; Hasson *and* Semiat, 2005). Pembentukan kerak pada sistem perpipaan 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 (Shiddiq, 2014).



Gambar 1. Kerak pada pipa geotermal (Azmi dkk., 2017).

Kerak juga dapat terbentuk karena campuran air yang digunakan tidak sesuai. Campuran air tersebut tidak sesuai saat air berinteraksi secara kimia dan mineralnya mengendap jika dicampurkan sehingga menyebabkan terbentuknya endapan CaSO_4 (Merdhah *and* Yassin, 2007).

Pada ladang minyak, terdapat beberapa macam komponen kerak yang sering dijumpai seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Selain itu, komponen kerak yang sering dijumpai pada peralatan industri secara umum yaitu kalsium sulfat (CaSO_4), kalsium karbonat (CaCO_3 turunan dari kalsium bikarbonat), kalsium dan seng fosfat, kalsium fosfat, silika dengan konsentrasi tinggi, besi dioksida (senyawa yang disebabkan oleh kurangnya kontrol korosi 10 atau alami berasal dari besi yang teroksidasi), besi fosfat (senyawa yang disebabkan karena pembentukan lapisan film dari inhibitor fosfat), mangan

dioksida (mangan teroksidasi tingkat tinggi) magnesium silika, silika dan magnesium pada konsentrasi tinggi dengan pH tinggi, magnesium karbonat, magnesium dengan konsentrasi tinggi dan pH tinggi serta CO₂ tinggi (Lestari, 2008).

Tabel 1. Kerak yang Umum Dijumpai pada Ladang Minyak

Nama	Formula Kimia	Variabel Primer
<i>Calcium Carbonate</i> (<i>Calsite</i>)	CaCO ₃	Suhu parsial CO ₂ , suhu total garam terlarut
<i>Calcium Sulfate</i> <i>Gypsum</i>	CaSO ₄ ·H ₂ O	Suhu, total garam terlarut, tekanan
<i>Hemi-hydrat</i>	CaSO ₄ ·1/2H ₂ O	
<i>Anhydrat</i>	CaSO ₄	
<i>Barium Sulfate</i>	BaSO ₄	Suhu, total garam terlarut, tekanan
<i>Stronsium Sulfate</i>	SrSO ₄	
<i>Iron Compound</i>		Karat, gas terlarut, pH
<i>Ferrous Carbonate</i>	FeCO ₃	
<i>Ferrous Sulfite</i>	FeS	
<i>Ferrous Hydroxide</i>	Fe(OH) ₂	
<i>Ferric Hydroxide</i>	Fe(OH) ₃	
<i>Ferric Oxide</i>	Fe ₂ O ₃	

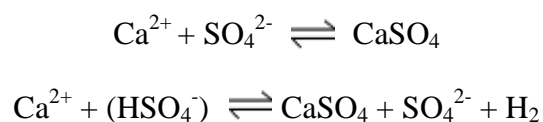
Sumber : Syahri dan Sugiarto (2008).

C. Kalsium Sulfat (CaSO₄)

Kalsium sulfat merupakan garam kalsium yang berbentuk serbuk putih, tidak berbau, atau berwarna. Bentuk kristal kalsium sulfat kadang-kadang memiliki semburat biru, abu-abu atau kemerahan atau bisa merah bata. Kalsium sulfat memiliki massa jenis 2,96 g/cm³, berat molekul 136,134 g/mol, titik leleh 2840 °F dan kelarutan dalam air 2 g/L pada suhu 25 °C

(Gangolli, 1999), jika dibandingkan dengan kalsium karbonat maka kalsium sulfat memiliki tingkat kelarutan yang lebih besar dalam air pada suhu ruang dimana, kalsium karbonat sangat sulit untuk larut dalam air, kelarutannya hanya sekitar 0,013 g/L pada suhu 25 °C (Tegethoff, 2001). Kalsium sulfat dan kalsium karbonat merupakan kerak yang biasa ditemui pada pipa-pipa industri, sehingga mudah untuk diteliti pertumbuhannya. Nilai hasil kali kelarutan dari kalsium sulfat pada suhu 25 °C sebesar $2,3 \times 10^{-4}$ mol/L. Sedangkan nilai hasil kali kelarutan kalsium karbonat pada suhu 25 °C adalah $4,8 \times 10^{-9}$ mol/L. Hasil kali kelarutan menunjukkan nilai akhir yang dicapai oleh hasil kali ion ketika kesetimbangan tercapai antara fase padat dari garam yang hanya sedikit larut dalam larutan (Svehla, 1990).

Kerak kalsium sulfat merupakan endapan senyawa CaSO_4 (kalsit) yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dengan ion sulfat (SO_4^{2-}) ataupun dengan ion bisulfat (HSO_4^-), menurut Antony *et al* (2011) reaksi pembentukan kalsium sulfat sebagai berikut :



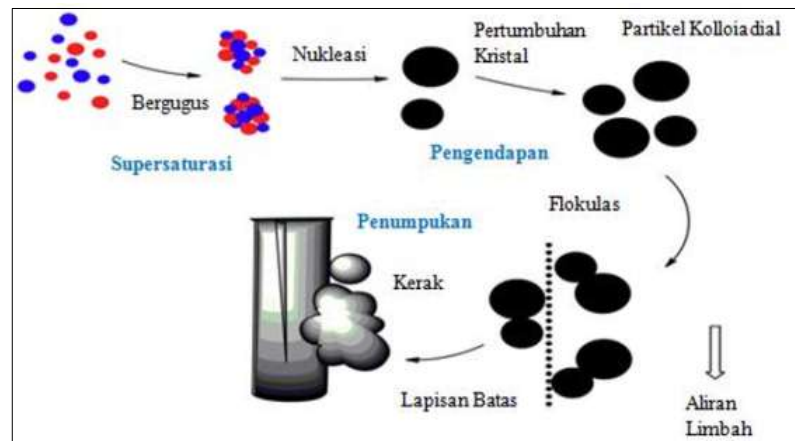
Kalsium membentuk kerak keras ketika berkombinasi dengan sulfat. Kerak CaSO_4 kemudian dapat dihindari jika suhu operasi dipertahankan dibawah suhu 421 °C dan dengan memberikan inhibitor kerak (Al-Sofi *et al.*, 1994). Kerak kalsium sulfat dikenal dengan tiga bentuk yaitu antara temperatur anhidrat (CaSO_4) stabil pada temperatur 98 °C, hemihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) stabil 98-170 °C dan dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Semua ini terbentuk karena adanya perbedaan temperatur dan konsentrasi air laut. Pada sirkulasi air

dengan kesadahan kalsium tinggi, kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dapat diendapkan dengan temperatur air. Kelarutan CaSO_4 bertambah dengan naiknya temperatur sampai 37°C , kemudian cenderung menurun pada temperatur di atas 37°C (Patel *and* Finan, 1999; Hamed *et al.*, 1997; Amjad, 1988).

D. Pembentukan Kristal

Pada prinsipnya, baik dalam nukleasi homogen atau heterogen, kerak terbentuk dalam 3 tahap:

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

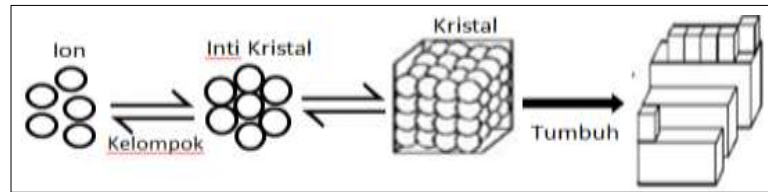


Gambar 2. Skema representasi makroskopik pembentukan deposit kerak di permukaan (Addicott *et al.*, 1987).

Dari penjelasan sebelumnya, dapat diketahui bahwa kerak terbentuk sebagai akibat dari menumpuknya inti-inti kristal. Berikut ini faktor-faktor pembentukan kristal :

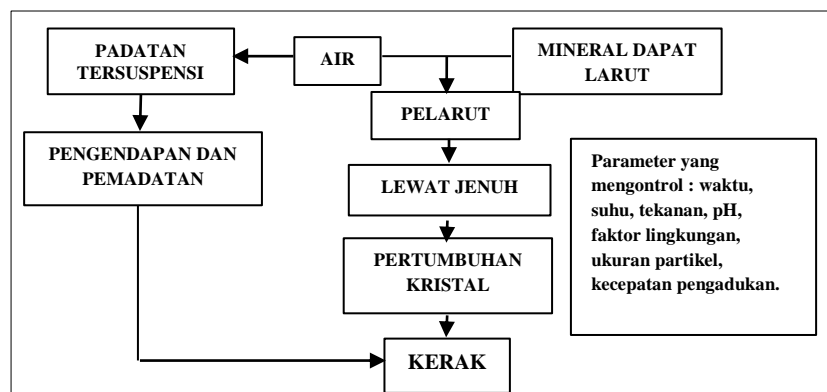
1. Kristalisasi

Kristalisasi adalah peristiwa pembentukan partikel-partikel zat padat dalam suatu fase homogen. Kristalisasi memiliki dua tahap proses, yaitu tahap pembentukan inti yang merupakan tahap mulai terbentuknya zat padat baru dan tahap pertumbuhan kristal yang merupakan tahap inti zat padat yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan menjadi kristal yang lebih besar.



Gambar 3. Proses pembentukan kristal (Zeiher *et al.*, 2003).

Contoh kasus laju pertumbuhan kristal yang mudah diamati terjadi pada pertumbuhan kristal borak (Suharso, 2005; Suharso, 2005a; Suharso, 2005b; Suharso, 2005c; Suharso, 2006; Suharso, 2006a; Suharso, 2007; Suharso *et al.*, 2007; Suharso, 2008; Suharso *et al.*, 2008; Suharso, 2012a).



Gambar 4. Skema umum mekanisme pembentukan deposit kerak air (Salimin dan Gunandjar, 2006).

Pembentukan inti kristal pada proses pembentukan kerak CaSO_4 terjadi saat larutan jenuh, dan sewaktu larutan melewati kondisi lewat jenuh maka terjadilah pertumbuhan kristal. Ukuran kristal bertambah besar dan selanjutnya melalui gaya gravitasi kristal jatuh dan terpisah dari larutan.

Mekanisme tersebut memerlukan waktu kontak antara larutan dan permukaan transfer yang memadai.

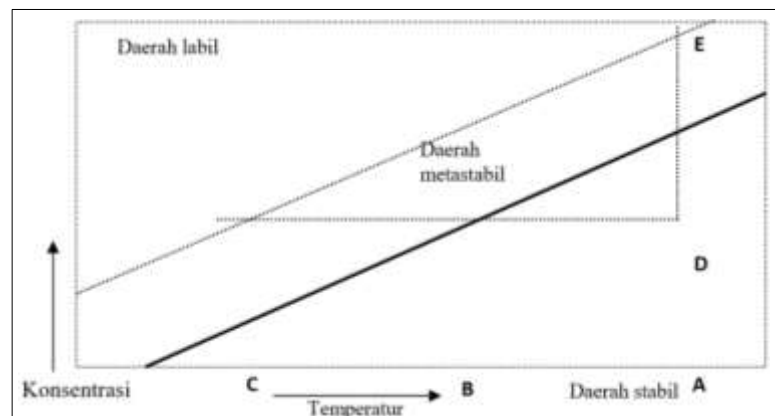
2. Kelarutan Endapan

Kelarutan tergantung juga pada sifat dan konsentrasi zat-zat lain, terutama ion-ion dalam campuran itu. Ada perbedaan yang besar antara efek dari ion sejenis dan ion asing. Ion sejenis adalah suatu ion yang juga merupakan salah satu bahan endapan. Umumnya dapat dikatakan bahwa suatu endapan berkurang banyak sekali jika salah satu ion sejenis terdapat dalam jumlah berlebihan, meskipun efek ini mungkin diimbangi dengan pembentukan suatu kompleks yang dapat larut dengan ion sejenis yang berlebihan itu. Dengan adanya ion asing, kelarutan endapan bertambah, tetapi pertambahan ini umumnya sedikit, kecuali jika terjadi reaksi kimia (seperti pembentukan kompleks atau reaksi asam-basa) antara endapan dan ion asing, pertambahan kelarutannya menjadi lebih besar.

3. Derajat Lewat Jenuh (Supersaturasi)

Laju pembentukan inti kristal tergantung pada derajat lewat jenuh dari larutan. Semakin tinggi derajat lewat jenuh maka semakin besar kemungkinan untuk membentuk inti baru sehingga akan semakin besar laju pembentukan inti yang mengakibatkan kerak yang terbentuk semakin besar pula. Larutan lewat jenuh (S) adalah larutan yang mengandung zat terlarut lebih besar daripada yang dibutuhkan pada sistem kesetimbangan larutan lewat jenuh. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh dengan

jalan pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan serta dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya. Diagram terbentuknya inti kristal yang dipengaruhi oleh temperatur dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram pembentukan inti kristal (Wafiroh, 1995).

Garis tebal yang terdapat pada Gambar 5 adalah kelarutan normal untuk zat terlarut dalam pelarut. Garis putus-putus adalah kurva lewat jenuh, posisinya dalam diagram tergantung pada zat-zat pengotor. Pada diagram tersebut, kondisi kelarutan dibagi dalam tiga bagian yaitu daerah stabil, metastabil, dan daerah labil. Daerah stabil adalah daerah larutan yang tidak mengalami kristalisasi. Daerah yang memungkinkan terjadinya kristalisasi tidak spontan adalah daerah metastabil, sedangkan daerah labil adalah daerah yang memungkinkan terjadinya kristalisasi secara spontan. Pada diagram pembentukan inti kristal, jika suatu larutan yang terletak pada titik A dan didinginkan tanpa kehilangan volume pelarut (garis

ABC), maka pembentukan inti secara spontan tidak akan terjadi sampai kondisi C tercapai. Larutan lewat jenuh dapat juga tercapai dengan mengurangi sejumlah volume pelarut dari pelarutnya dengan proses penguapan. Hal ini ditunjukkan dengan garis ADE, yaitu jika larutan pada titik A diuapkan pada temperatur konstan (Wafiroh, 1995).

E. Pembentukan Kerak

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

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

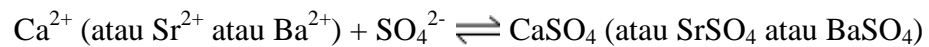
Pada umumnya komponen pembentuk kerak cenderung mengendap atau menempel sebagai kerak pada temperatur tinggi. Hal ini disebabkan karena kelarutannya menurun dengan naiknya temperatur. Laju pergerakan mulai meningkat pada temperatur air 50 °C atau lebih dan kadang-kadang kerak terbentuk pada temperatur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

3. Laju Alir Air

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

Dibawah ini adalah tiga prinsip pembentukan kerak (Merdhah *and* Yassin, 2007) :

1. Campuran dua air garam yang tidak sesuai (umumnya air formasi mengandung banyak kation seperti ion kalsium, barium, dan stronsium, bercampur dengan ion sulfat yang banyak terdapat dalam air laut, menghasilkan kerak sulfat seperti CaSO_4).



2. Penurunan tekanan dan kenaikan temperatur air garam, yang akan menurunkan kelarutan garam (umumnya mineral yang paling banyak mengendap adalah kerak karbonat seperti CaCO_3).



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

F. Dampak Terbentuknya Kerak

Pembentukan kerak yang terjadi pada dinding pipa atau bejana akan berakibat menimbulkan berbagai kerugian pada sistem industri seperti penyempitan

aliran mengakibatkan penurunan debit dan bertambahnya waktu proses, semua itu akan meningkatkan biaya produksi. Akibat lain adalah penambahan ketebalan dinding pipa misal pada dinding ketel pipa air dimana pada pipa tersebut dilakukan pembakaran maka proses perpindahan panas secara konduksi akan terhalang oleh lapisan kerak yang berakibat terjadinya kehilangan panas (Soediono, 2011).

Pada penelitian Halimatuddahlia (2003) menyimpulkan bahwa pembentukan kerak pada operasi produksi minyak bumi dapat mengurangi produktivitas sumur akibat tersumbatnya pipa, pompa, dan katub. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa peralatan industri akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Terganggunya aliran fluida menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan pecah (Asnawati, 2001). Oleh karena itu, perlu dilakukan pencegahan untuk mengurangi atau menghilangkan kerak kalsium sulfat yang mulai terbentuk pada peralatan-peralatan industri, sehingga kerugian akibat terbentuknya kerak dapat diminimalisir.

G. Pencegahan Pembentukan Kerak

Beberapa metode yang digunakan untuk mencegah terbentuknya kerak CaSO_4 pada peralatan-peralatan industri adalah sebagai berikut:

1. Pengendalian pH

Pengendalian pH dengan penginjeksian asam (asam sulfat atau asam klorida) telah lama diterapkan untuk mencegah pertumbuhan kerak oleh garam-garam kalsium, garam logam bivalen dan garam fosfat (Lestari, 2000). Kelarutan bahan pembentukan kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Pada pH 6,5 atau kurang, korosi pada baja karbon, tembaga dan paduan tembaga dengan cepat akan berlangsung dan pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak hanyalah pada pH 7,0 sampai 7,5. Oleh karena itu, suatu sistem otomatis penginjeksian asam diperlukan untuk mengendalikan pH secara tepat. Lagi pula, asam sulfat dan asam klorida mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya. Hingga kini penghambatan kerak dengan hanya menginjeksikan asam semakin jarang digunakan (Lestari dkk., 2004).

2. Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Untuk mencegah terjadinya kerak pada air yang mengandung kesadahan tinggi (± 250 ppm CaSO_4) perlu adanya pelunakan dengan menggunakan kapur dan soda abu (pengolahan kapur dingin). Masalah kerak tidak akan dijumpai jika yang digunakan adalah air bebas mineral karena seluruh garam-garam terlarut dapat dihilangkan. Oleh karena itu, pemakaian air bebas mineral merupakan metode yang tepat untuk menghambat kerak di dalam suatu sistem dengan pembebanan panas tinggi dimana pengolahan konvensional dengan bahan penghambat kerak tidak berhasil (Lestari dkk., 2004). Namun penggunaan air bebas

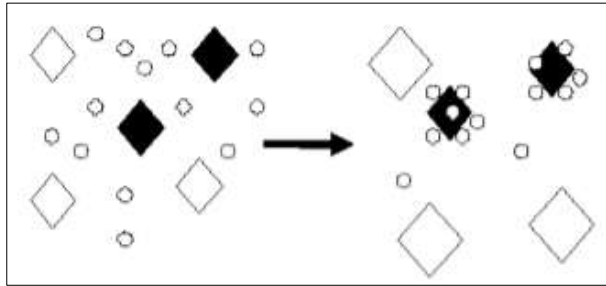
mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang cukup tinggi sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja.

3. Penggunaan Inhibitor Kerak

Inhibitor kerak pada umumnya merupakan bahan kimia yang sengaja ditambahkan untuk mencegah atau menghentikan terbentuknya kerak bila ditambahkan dengan konsentrasi yang kecil ke dalam air (Halimatuddahlia, 2003). Prinsip kerja dari inhibitor kerak adalah pembentukan senyawa kompleks (khelat) antara inhibitor dengan unsur-unsur penyusun kerak. Senyawa kompleks yang terbentuk dapat larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar dan mencegah kristal kerak untuk melekat pada permukaan pipa (Patton, 1981).

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

1. Menunjukkan kestabilan termal yang cukup efektif untuk mencegah terbentuknya air sadah dari pembentukan kerak.
2. Merusak struktur kristal dari padatan tersuspensi lain yang mungkin akan terbentuk.
3. Memiliki tingkat keamanan yang tinggi dalam penggunaannya sehingga tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi lingkungan sekitar (Al Deffeeri, 2006).



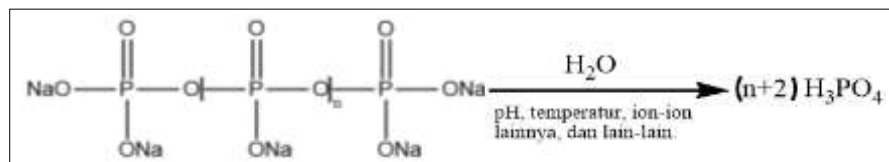
Gambar 6. Mekanisme inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kristal
(\circ = inhibitor, \diamond = bibit kristal)(Suharso *et al.*, 2009).

Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan dalam Gambar 6 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 (Sikiric' *and* Milhofer, 2006; Suharso *et al.*, 2009).

Pada umumnya inhibitor kerak yang digunakan di ladang-ladang minyak atau pada peralatan industri dibagi menjadi dua macam yaitu inhibitor kerak anorganik dan inhibitor kerak organik. Senyawa anorganik fosfat yang umum digunakan sebagai inhibitor adalah kondensat fosfat dan dehidrat fosfat. Bahan-bahan kimia ini mengandung grup P-O-P dan cenderung untuk melekat pada permukaan kristal. Inhibitor kerak organik yang biasa digunakan adalah organofosfonat organofosfat ester dan polimer-polimer

organik (Asnawati, 2001). Inhibitor kerak yang pernah digunakan yaitu polimer-polimer yang larut dalam air dan senyawa fosfonat.

Salah satu inhibitor kerak dari polimer-polimer yang larut dalam air adalah polifosfat. Polifosfat merupakan inhibitor kerak yang murah namun memiliki keefektifan yang terbatas. Keunggulan polifosfat sebagai inhibitor kerak CaSO_4 antara lain karena kemampuannya untuk menyerap pada permukaan kristal yang mikroskopik, menghambat pertumbuhan kristal pada batas konsentrasi rendah dan strukturnya yang mampu merusak padatan tersuspensi. Hal ini dapat mencegah pertumbuhan kristal lebih lanjut, atau setidaknya memperlambat proses pertumbuhan kerak. Namun, polifosfat yang memiliki kelemahan utama yaitu mudah terhidrolisis pada temperatur di atas $90\text{ }^\circ\text{C}$ menghasilkan ortofosfat. Reaksi hidrolisis polifosfat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Reaksi hidrolisis polifosfat (Gill, 1999).

Reaksi tersebut merupakan reaksi hidrolisis polifosfat yang merupakan fungsi dari temperatur, pH, waktu, dan adanya ion-ion lain. Ortofosfat yang dihasilkan dapat menyebabkan menurunnya kemampuan untuk menghambat pertumbuhan kerak dan menyebabkan terbentuknya kerak baru dari

presipitasi kalsium fosfat (Gill, 1999), sehingga penggunaan polifosfat sebagai inhibitor kerak hanya efektif pada temperatur rendah (Al-Deffeeri, 2006). Penggunaan senyawa-senyawa anorganik (Zhang *and* Dawe, 2000), asam amino (Manoli *et al.*, 2002), polimer-polimer yang larut dalam air seperti poliaspartat (Donachy *and* Sikes, 1994; Jones *et al.*, 2005), polifosfat dan senyawa-senyawa lain seperti fosfonat, karboksilat (Al-Deffeeri, 2006), dan sulfonat telah diketahui sangat efektif sebagai inhibitor endapan CaSO_4 (He *et al.*, 1999; Choi *et al.*, 2001).

H. Mekanisme Pelarutan dan Penghambatan

Terdapat empat mekanisme yang berlangsung pada proses penghambatan kerak pada pipa, dimana masing-masing mekanisme yang berlangsung bergantung pada inhibitor yang digunakan dalam menghambat pertumbuhan kristal, diantaranya :

1. *Inhibisi Threshold*

Inhibisi Threshold (ambang batas) didefinisikan sebagai kemampuan senyawa kimia pada tingkat substoikiometri untuk menjaga kelarutan ion mineral melampaui batas normalnya (Davis *et al.*, 1995; Stamatakis *et al.*, 2006). Inhibitor yang biasa digunakan dalam penghambatan kerak adalah senyawa yang mengandung fosfor : polifosfat anorganik, ester fosfat organik, fosfonat organik, dan fosfat amino organik. Selain itu, beberapa aminopolikarboksilat, fosfonopolikarboksilat, dan sulfonat (Demadis *et*

al., 2009). Adanya gugus-gugus seperti -COOH, -OH, -NH₂ yang terdapat pada suatu inhibitor dapat meningkatkan laju pelarutan dan efisiensi pelarutan (Demadis *et al.*, 2006).

2. Kelat

Kelat adalah aditif kimia yang mengikat kation yang dapat larut (Ca²⁺, Mg²⁺, Ba²⁺ dll) untuk mencegah reaksi dengan *counter* ion (Jones *et al.*, 2006a). Hal ini dapat dicapai dengan mengubah muatan ion logam dari positif menjadi negatif dan mengunci logam ke dalam struktur cincin organik yang larut. Kompleks kelat-logam yang terbentuk larut dalam air. Kompleks logam terlarut tidak memperlihatkan aktivitas kimia sebagai ion untuk pengendapan di permukaan *boiler* (ketel uap).

Kelat bertindak berdasarkan stoikiometri (yaitu, satu molekul kelat bereaksi dengan hanya satu ion kalsium atau beberapa, tergantung pada pH) dan dosis tinggi diperlukan untuk mencapai kinerja yang memuaskan. Komponen utama dari pelarut kerak yang biasa digunakan adalah garam dari asam amino karboksilat (asam etilendiamintetraasetat (EDTA), asam dietilentriaminpentaasetat, asam nitrilotriasetat) dan polifosfonat (dietilentriaminpenta(asam metilenfosfonat), asam 1-hidroksietana-1,1-difosfonat, aminotris(asam metilenfosfonat) (Kołodzyńska, 2011; Knepper, 2003). Karena penggunaannya yang berdasarkan stoikiometri, sehingga kelat akan membutuhkan biaya yang mahal untuk pengaplikasiannya. Industri pengolahan kertas diperkirakan mengkonsumsi sekitar 15.000 -

20.000 ton EDTA setiap tahun (1,125-1,5 triliun rupiah), dengan harga EDTA Rp.75.000,00/Kg (Jones *et al.*, 2002).

3. Distorsi Kristal

Dalam mekanisme distorsi kristal, bahan kimia mempengaruhi pertumbuhan kristal, menyebabkan bentuk kristal menjadi tidak beraturan dan tidak berbentuk kristal. Molekul inhibitor mengadsorpsi ke situs pertumbuhan kristal yang aktif, menghasilkan penyumbatan dan pencegahan pertumbuhan lebih lanjut (Davis *et al.*, 1995). Selain itu, distorsi (cacat pada kisi kristal) menciptakan tekanan internal membuat kristal yang terbentuk rapuh dan halus. Kristal-kristal inilah yang dapat dengan mudah dikeluarkan dari permukaan pipa, karena tidak dapat menahan kekuatan mekanik yang diberikan oleh air.

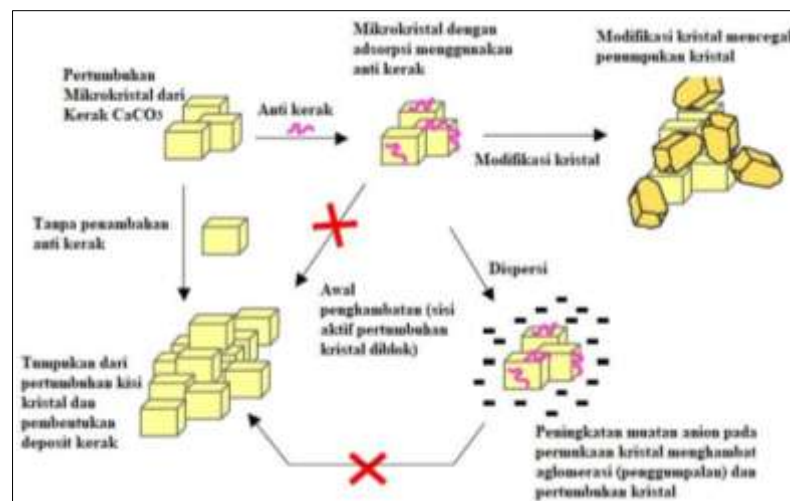
Polimer dengan berat molekul yang rendah 2000-5000 menunjukkan kemampuan yang baik dalam distorsi kristal. Senyawa yang paling umum digunakan adalah asam poliakrilat (PAA), asam polimaleat (PMA), poliamida, dendrimer poliamida, karboksimetilulin, dll (Chauhan *et al.*, 2015).

4. Dispersi Kristal

Dispersi adalah campuran stabil yang seragam dari bahan yang tidak larut dalam cairan. Dispersi terjadi ketika inhibitor secara kimia teradsorpsi ke permukaan kristal dan memberikan muatan permukaan. Muatan permukaan yang dihasilkan menyebabkan tolakan elektrostatis antara

partikel bermuatan serupa untuk menghindari aglomerasi, mengurangi pertumbuhan partikel dan akhirnya menyebabkan dispersi. Dengan demikian, zat pendispersi mempengaruhi interaksi partikel ke partikel (homogen) dan partikel ke permukaan (heterogen) (Chauhan *et al.*, 2015). Dispersi yang paling efektif adalah polimer anionik berberat molekul rendah. Polimer fungsional berbasis akrilat banyak digunakan sebagai dispersan karena memiliki stabilitas dan potensi yang lebih tinggi.

Keempat mekanisme inhibisi kerak yang telah disebutkan pada dasarnya melibatkan adsorpsi anti kerak untuk mencegah endapan mineral melekat pada permukaan yang ditunjukkan pada Gambar.8 (Chauhan *et al.*, 2015)



Gambar 8. Mekanisme penghambatan kerak (Chauhan *et al.*, 2015).

I. Asap Cair Pelelah Kelapa Sawit

Menurut Pszczola (1995), asap cair disebut juga cuka kayu (*wood vinegar*) diperoleh dengan cara pirolisis dari bahan baku misalnya batok kelapa, sabut kelapa atau kayu pada suhu 400-600 °C selama 90 menit untuk memperoleh asap, lalu diikuti dengan proses kondensasi di dalam kondensor dengan menggunakan air sebagai pendingin. Pada dasarnya bahan baku untuk menghasilkan asap cair ini bermacam-macam, antara lain kayu, tandan kosong kelapa sawit, cangkang kelapa sawit, tempurung kelapa sawit, pelelah kelapa sawit, tempurung kelapa dan ampas hasil penggergajian (Girard, 1992).

Asap cair mengandung berbagai senyawa yang terbentuk karena terjadinya pirolisis tiga komponen kayu yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen-komponen tersebut ditemukan dalam jumlah yang bervariasi tergantung pada jenis kayu, umur tanam dan tempat tumbuh kelapa sawit (Maulina dkk., 2018). Senyawa yang terdapat pada asap cair meliputi asam (mempengaruhi pH dan pembentuk aroma), karbonil (bereaksi dengan protein dan membentuk pewarnaan coklat) dan fenol (menunjukkan aktivitas antioksidan dan memperpanjang umur simpan) (Hidayat dan Qomaruddin, 2015)

Komponen-komponen penyusun asap cair meliputi:

1. Senyawa-Senyawa Fenol

Senyawa fenol diduga berperan sebagai antioksidan sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk asapan. Kandungan senyawa fenol dalam asap sangat tergantung pada temperatur pirolisis kayu. Senyawa-senyawa fenol yang terdapat dalam asap kayu umumnya hidrokarbon aromatik yang tersusun dari cincin benzena dengan sejumlah gugus hidroksil yang terikat.

2. Senyawa-Senyawa Karbonil

Senyawa-senyawa karbonil dalam asap memiliki peranan pada pewarnaan dan cita rasa produk asapan. Golongan senyawa ini mempunyai aroma seperti aroma karamel yang unik. Jenis senyawa karbonil yang terdapat dalam asap cair antara lain adalah vanilin dan siringaldehida.

3. Senyawa-Senyawa Asam

Senyawa-senyawa asam mempunyai peranan sebagai anti bakteri dan membentuk cita rasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butirrat, dan valerat.

4. Senyawa *Benzo(a)pyrene*

Benzo(a)pyrene mempunyai titik didih 310 °C dan dapat menyebabkan kanker kulit jika dioleskan langsung pada permukaan kulit. Akan tetapi proses yang terjadi memerlukan waktu yang lama.

Salah satu komponen kimia lain yang dapat terbentuk pada pembutan asap cair adalah *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) dan turunannya, beberapa diantara komponen tersebut bersifat karsinogenik (Stolyhwo, 2005).

Mengurangi jumlah PAH yang terkandung dalam asap cair dapat dilakukan pemurnian seperti pemurnian asap cair dengan cara distilasi (Luditama, 2006) dan pemurnian dengan cara ekstraksi (Sutin, 2008).

Asap cair pelepah kelapa sawit hasil pirolisis berwarna coklat seperti pada Gambar 9 dengan pH 3 dan memiliki aroma asap yang menyengat. Warna dari asap cair berkisar dari kuning keemasan hingga coklat gelap. Warna ini bergantung pada komposisi kimianya.



Gambar 9. Asap cair pelepah kelapa sawit hasil pirolisis (Maulina dkk., 2018).

Senyawa kimia dominan yang terkandung dalam asap cair pelepah kelapa sawit hasil pirolisis adalah asam asetat sebesar 52,19 %. Dan kandungan inilah yang akan dijadikan sebagai inhibitor kerak CaSO_4 . Berikut ini merupakan kandungan senyawa utama yang terdapat pada asap cair hasil pirolisis dengan analisis GC-MS :

Tabel 2. Kandungan Senyawa pada Hasil Pirolisis Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit

No	Nama Senyawa	Rumus Molekul	% Area Pelepah Sawit
1	<u>Senyawa Asam</u> <i>Acetic Acid</i>	$C_2H_4O_2$	52,19
2	<u>Senyawa Aldehida dan Keton</u> <i>2-propanone</i>	C_3H_6O	3,35
	<i>1-hydroxy-2-propanone</i>	$C_3H_6O_2$	2,68
	<i>3-methylbutanal</i>	$C_5H_{10}O$	4,35
	<i>3-ethoxy-propanal</i>	$C_5H_{10}O_2$	1,78
3	<u>Senyawa Furan dan Piran</u> <i>2-furancarboxaldehyde (furfural)</i>	$C_5H_4O_2$	5,98
	<i>5-(hydroxymethyl)-2-furancarboxaldehyde</i>	$C_8H_{14}O$	4,18
4	<u>Senyawa Fenol</u> <i>Fenol</i>	C_6H_6O	9,12
	<i>2,6-dimethoxyphenol (syringol)</i>	$C_8H_{10}O_3$	1,84
5	<u>Senyawa Ester</u> <i>Vinyl Formate</i>	$C_3H_4O_2$	7,8

Sumber : Rahmalinda, dkk (2014).

Dari kandungan tersebut senyawa asam memiliki kadar yang lebih dominan daripada senyawa lainnya dengan diikuti oleh fenol dengan % area 9,12%. Pada penelitian sebelumnya inhibitor yang digunakan untuk menghambat pertumbuhan kristal $CaSO_4$ adalah asap cair tempurung kelapa *grade 3* dengan efektivitas inhibitor mencapai 177% pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,050 M dengan konsentrasi inhibitor 350 ppm (Anggraeni, 2018). Hal ini dikarenakan asap cair tempurung kelapa *grade 3* memiliki kandungan senyawa kimia yang terdiri dari asam asetat dan fenol yang dapat digunakan untuk menghambat laju pertumbuhan kerak $CaSO_4$ pada pipa-pipa industri.

J. Metode Pertumbuhan Kristal

Metode yang dapat digunakan dalam mengamati pertumbuhan kristal terbagi menjadi dua yakni *seeded* dan *unseeded experiment*. Menurut Utari (2016) metode *seeded experiment* merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Penambahan bibit kristal (*seeded experiment*) dilakukan untuk mendorong terjadinya proses kristalisasi dengan lebih cepat. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kristal setelah penambahan inhibitor dengan telah adanya bibit kristal pada larutan pertumbuhan. Metode *unseeded experiment* merupakan salah satu metode pembentuk kristal dengan cara tidak menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan kristal pada alat-alat industri yang masih baru digunakan sehingga dapat mencegah terbentuknya kerak.

K. Analisis menggunakan IR, GC-MS, SEM, XRD dan PSA

Pada penelitian ini dilakukan beberapa analisis terhadap kristal CaSO_4 yang terbentuk diantaranya analisis gugus fungsi terhadap asap cair pelepah kelapa sawit dengan menggunakan *spectrophotometry infrared* (IR), analisis komponen senyawa kimia pada asap cair pelepah kelapa sawit menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). mengetahui perubahan morfologi permukaan kristal CaSO_4 menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan mengetahui bentuk kristal CaSO_4 menggunakan X-

Ray Diffraction (XRD), dan analisis distribusi ukuran partikel menggunakan *Particle Size Analyzer (PSA)*. Hal ini dilakukan untuk membuktikan bahwa inhibitor asap cair pelepah sawit tersebut benar-benar dapat menghambat kinerja pertumbuhan kristal CaSO_4 sesuai dengan data yang diperoleh.

Berikut ini uraian dari berbagai instrumen yang digunakan pada penelitian ini :

1. *Fourier Transform Infra Red (FT-IR)*

Spektrum IR suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi vibrasi dan osilasi. Bila molekul menyerap radiasi IR, energi yang diserap akan menyebabkan kenaikan *amplitude* getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul-molekul tersebut berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*), energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Panjang gelombang eksak dari adsorpsi oleh suatu tipe ikatan bergantung pada macam vibrasi dari ikatan tersebut (Supratman,2010).

Syarat suatu gugus fungsi dalam suatu senyawa dapat terukur pada FT-IR adalah adanya perbedaan momen dipol pada gugus tersebut. Vibrasi ikatan akan menimbulkan fluktuasi momen dipol yang menghasilkan gelombang listrik. Untuk pengukuran menggunakan IR biasanya berada pada daerah bilangan gelombang $400\text{-}4500\text{ cm}^{-1}$. Daerah pada bilangan gelombang ini disebut daerah IR sedang, dan merupakan daerah optimum untuk penyerapan sinar IR bagi ikatan-ikatan dalam senyawa organik (Harjono, 1992).

Dengan menggunakan analisis FT-IR terhadap asap cair pelepah kelapa sawit, diharapkan spektrum yang diperoleh dapat memberikan pita serapan yang menunjukkan adanya gugus C=O dari asam karboksilat, keton, aldehida dan ester pada bilangan gelombang 1690-1760 cm^{-1} . Selain itu dapat menunjukkan adanya gugus -OH pada bilangan gelombang sekitar 3300 cm^{-1} , gugus C=C pada bilangan gelombang 3010-3095 cm^{-1} atau 675-995 cm^{-1} , gugus C-H alkana pada bilangan gelombang 2850-2970 cm^{-1} atau 1340-1470 cm^{-1} dan aromatik pada bilangan gelombang 690-900 cm^{-1} atau 3010-3100 cm^{-1} (Fessenden dan Fessenden, 1986; Skoog *et al.*, 2007).

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

Gas Chromatography (GC) merupakan salah satu teknik kromatografi yang hanya dapat digunakan untuk mendeteksi senyawa-senyawa yang mudah menguap. Kriteria menguap adalah dapat menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah serta dapat dipanaskan (Drozd, 1985). *Mass Spectrometer (MS)* adalah suatu metode analisis instrumental yang dipakai untuk identifikasi dan penentuan struktur dari komponen sampel dengan cara menunjukkan massa relatif dari molekul komponen dan massa relatif hasil pecahannya (Pavia, 2006).

Seiring dengan perkembangan teknologi maka instrumen GC digunakan secara bersama-sama dengan instrumen lain seperti MS sehingga biasa disebut dengan GC-MS. Dalam hal ini, MS diperlukan untuk identifikasi senyawa sebagai penentu bobot molekul dan penentuan rumus molekul,

sedangkan GC hanya berfungsi sebagai sarana pemisah tanpa dilengkapi dengan detektor sebagaimana GC pada umumnya, tetapi yang berfungsi sebagai detektornya adalah MS (David, 2005).

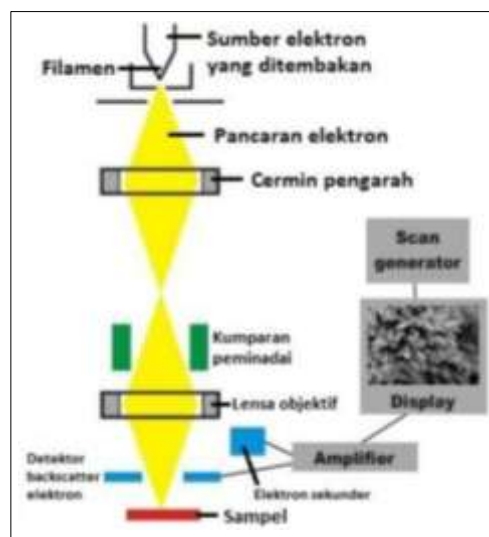
Prinsip kerja GC-MS adalah sampel yang berupa cairan diinjeksikan ke dalam injektor kemudian diuapkan. Sampel yang berupa uap dibawa oleh gas pembawa menuju kolom untuk proses pemisahan. Setelah terpisah, masing-masing komponen akan melalui ruang pengion dan dibombardir oleh elektron sehingga terjadi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

3. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati dan menganalisis karakteristik struktur mikro dari bahan padat yang konduktif maupun yang tidak konduktif. Sistem pencahayaan pada SEM menggunakan radiasi elektron yang mempunyai $\lambda = 200-0,1 \text{ \AA}$, daya pisah (resolusi) yang tinggi sekitar 5 nm sehingga dapat dicapai perbesaran hingga ± 100.000 kali dan menghasilkan gambar atau citra yang tampak seperti tiga dimensi karena mempunyai *depth of field* yang tinggi, sehingga SEM mampu menghasilkan gambar atau citra yang lebih baik dibandingkan dengan hasil mikroskop optik. Pengamatan dari morfologi permukaan kristal kalsium sulfat dapat dilakukan menggunakan SEM. Kelebihan menggunakan SEM antara lain material atau sampel dapat dikarakterisasi

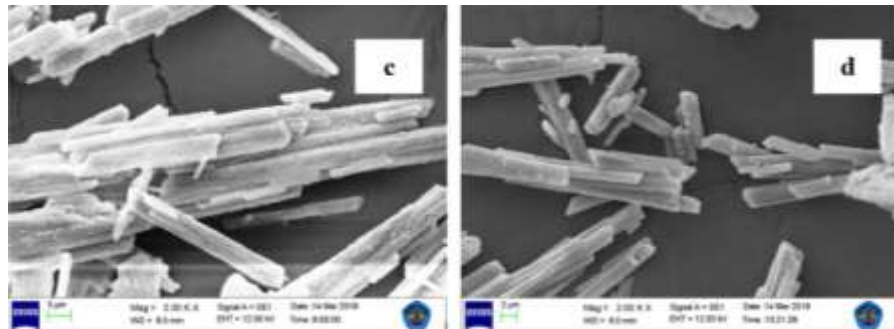
tanpa persiapan khusus, karena itu sampel yang tebal sekalipun (*bulk*) juga dapat dianalisis.

Pada prinsipnya SEM dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi dan distribusi unsur. SEM terdiri dari kolom elektron (*electron column*), ruang sampel (*sample chamber*), sistem pompa vakum (*vacuum pumping system*), kontrol elektron dan sistem bayangan (*imaging system*) (Handayani dan Sitompul, 1996). Skema instrumentasi SEM ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema instrumentasi SEM (Handayani dan Sitompul, 1996).

Menurut Pertiwi (2018), hasil analisis morfologi permukaan kerak CaSO_4 menggunakan SEM yang diperoleh tanpa inhibitor dan dengan penambahan inhibitor dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Morfologi Kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,050 M (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor 350 ppm pada perbesaran 2000x (Pertiwi, 2018).

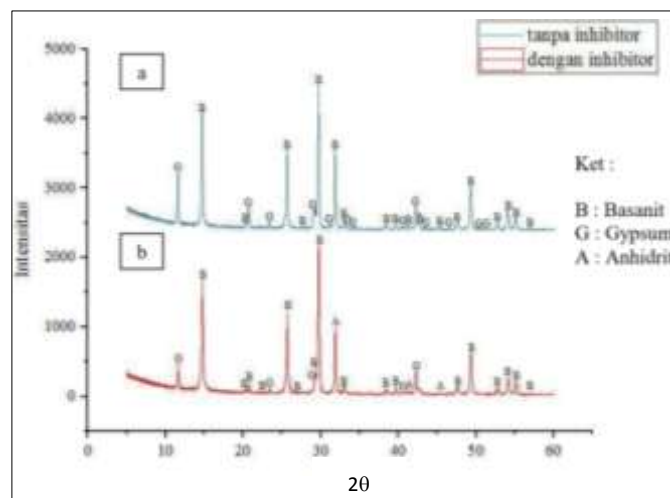
Pada Gambar 11 dapat dilihat perubahan morfologi permukaan kerak CaSO_4 tanpa penambahan inhibitor yang terlihat lebih padat, jelas, serta bentuk kristal yang lebih teratur, bertumpuk dan besar yang ditunjukkan pada Gambar 11 (a). Berbeda dengan hasil analisis SEM pada Gambar 11 (b) dengan penambahan inhibitor, terlihat ukuran kristal yang lebih kecil, dan bentuk kristal yang tidak beraturan serta strukturnya terlihat lebih halus.

4. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Metode difraksi sinar-X adalah metode yang didasarkan pada difraksi radiasi elektromagnetik yang berupa sinar-X oleh suatu kristal. Sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang pendek yaitu 0,5 – 2,5 Å. Sinar-X dihasilkan dengan cara menembakkan suatu berkas elektron berenergi tinggi ke suatu target dan menunjukkan gejala difraksi jika jatuh pada benda yang jarak antar

bidangnya kira-kira sama dengan panjang gelombangnya pada suatu bidang dengan sudut θ (Cullity, 1967).

Analisis difraksi sinar-X didasarkan pada susunan sistematis atom-atom atau ion-ion di dalam bidang kristal yang dapat tersusun sedemikian rupa sehingga membentuk kisi kristal dengan jarak antar bidang (d) yang khas. Setiap spesies mineral mempunyai susunan atom yang berbeda-beda sehingga membentuk bidang kristal yang dapat memantulkan sinar-X dalam pola difraksi yang karakteristik. Pola difraksi inilah yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi suatu senyawa.



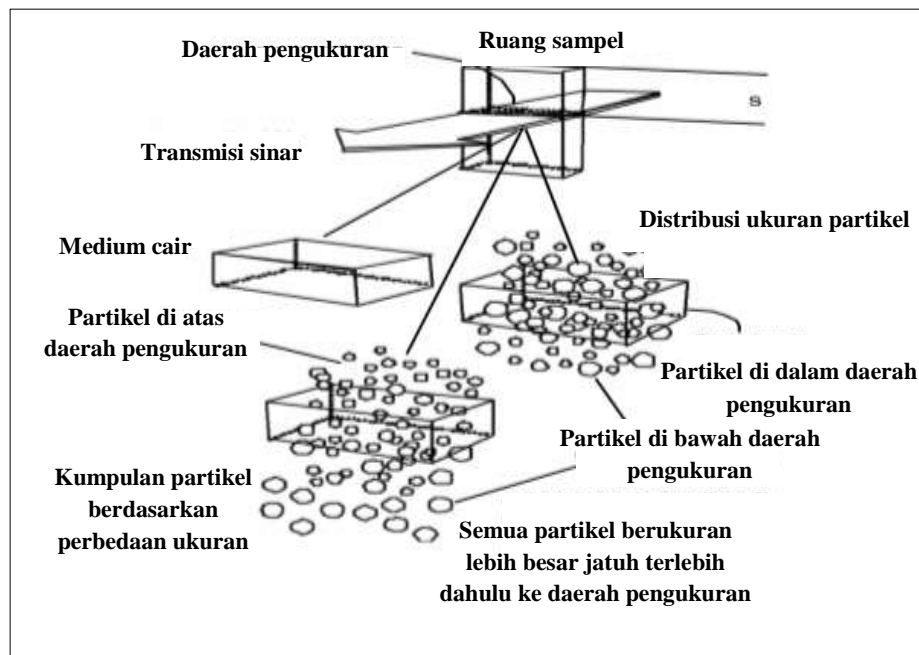
Gambar 12. Difraktogram CaSO_4 (a) tanpa inhibitor (b) dengan inhibitor (Pertiwi, 2018).

Gambar 12 menunjukkan adanya perbedaan pola XRD fase kerak kalsium sulfat tanpa adanya penambahan inhibitor dan setelah penambahan inhibitor. Tanpa penambahan inhibitor fase kerak CaSO_4

yang terbentuk yaitu adanya fase gipsum dan basanit, namun lebih didominasi oleh fase basanit (Gambar 12a). Adanya penambahan inhibitor menyebabkan perubahan fase pada kerak CaSO_4 . Setelah penambahan inhibitor tersebut kerak CaSO_4 yang terbentuk memiliki fase gipsum dan basanit, namun pada difraktogram ini fase gipsum hampir hilang. Selain itu, setelah penambahan inhibitor menyebabkan munculnya fase baru yaitu anhidrit (Gambar 12b). Hasil analisis XRD ini menyatakan bahwa kerak CaSO_4 tanpa penambahan inhibitor didominasi kristal dengan fase gipsum dan basanit, sedangkan setelah penambahan inhibitor kristal yang dihasilkan didominasi oleh kristal fase basanit, anhidrit dan sedikit gipsum.

5. *Particle Size Analyzer (PSA)*

Particle size analyzer dapat menganalisis partikel suatu sampel yang bertujuan untuk menentukan ukuran partikel dan distribusinya. Distribusi ukuran partikel dapat diketahui melalui gambar yang dihasilkan. Ukuran tersebut dinyatakan dalam jari-jari untuk partikel yang berbentuk bola. Berikut ini diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf (Webb, 2004).

Penentuan ukuran dan distribusi partikel menggunakan PSA dapat dilakukan dengan : (1) difraksi sinar laser untuk partikel dari ukuran submikron sampai dengan milimeter, (2) *counter principle* untuk mengukur dan menghitung partikel yang berukuran mikron sampai dengan milimeter, (3) penghamburan sinar untuk mengukur partikel yang berukuran mikron sampai dengan nanometer (Etzler, 2004). PSA mampu mengukur partikel distribusi ukuran emulsi, suspensi dan bubuk kering (Totoki *et al.*, 2007).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik / Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Januari-April 2019. Analisis menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gajah Mada. Analisis FT-IR dan SEM dilakukan di Unit Pelaksana Teknik Laboratorium Teknologi dan Sentra Inovasi Terpadu (UPTLTSIT) Universitas Lampung. Analisis menggunakan PSA dilakukan di Laboratorium Sentra Universitas Padjajaran, serta analisis XRD dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh November.

B. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat-alat gelas yang biasa digunakan di laboratorium, *water bath* merek Thermoscientific AC 200/S21 dibuat di United Kingdom, spatula, *hotplate stirrer* merek Stuart CB 162 dibuat di United Kingdom, spinbar, gelas-gelas plastik, neraca analitik merek Airshwoth AA-160 dari Jepang, oven merek Innotech dibuat di China, pH meter merek Metrohm 827 dari Swiss, FT-IR (*Fourier Transform Infra Red*)

merek Cary 630 Agilent dari United State, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merek Zeiss evo MA10 dibuat di Kanada, GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) merek Shimadzu GC2010 MSQP 2010S dibuat di Jepang, PSA (*Particle Size Analyzer*) merek Coulter LS 13320 dibuat di United State, serta XRD (*X-Ray Diffraction*) merek Philip Analytical dibuat di Belanda.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu CaCl_2 anhidrat, Na_2SO_4 , kertas saring, akuades, dan asap cair dari pelepah kelapa sawit dibuat di Politeknik Negeri Lampung (POLINELA) Indonesia.

C. Prosedur Penelitian

1. Pembuatan Asap Cair Pelepah Kelapa Sawit

Pada penelitian ini, asap cair pelepah kelapa sawit yang digunakan diperoleh dari Politeknik Negeri Lampung (POLINELA). Asap cair pelepah kelapa sawit dihasilkan dengan metode pirolisis yaitu proses reaksi penguraian senyawa-senyawa penyusun kayu keras (pelepah kelapa sawit) menjadi beberapa senyawa organik melalui reaksi pembakaran kering, pembakaran tanpa oksigen atau dengan oksigen dalam jumlah yang terbatas. Asap yang dihasilkan dari pembakaran selanjutnya dikondensasi dengan kondensor sehingga diperoleh asap cair pelepah kelapa sawit *grade* 3. Analisis FT-IR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat

dalam asap cair pelepah kelapa sawit, serta analisis GC-MS dilakukan untuk mengetahui komponen senyawa kimianya.

2. Preparasi Inhibitor

Pada penelitian ini digunakan asap cair pelepah sawit *grade* 3 dengan variasi konsentrasi 35, 25, 15 dan 5 %. Pembuatan inhibitor dengan konsentrasi 35 % dilakukan dengan cara sebanyak 350 mL asap cair pelepah kelapa sawit diencerkan dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL, lalu dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan pada pembuatan larutan inhibitor dengan konsentrasi 25, 15, dan 5 %.

3. Pengujian Asap Cair sebagai Inhibitor dalam Pertumbuhan Kristal CaSO_4

Tahapan untuk pengujian asap cair pelepah kelapa sawit sebagai inhibitor dalam pertumbuhan kristal CaSO_4 dengan metode *unseeded experiment* dilakukan dengan rangkaian percobaan sebagai berikut :

a. Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO_4 Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,050 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,050 M Na_2SO_4 masing-masing dengan volume akuades 200 mL. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan *hotplate stirrer* dilengkapi spinbar selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl_2 anhidrat 0,050 M dan larutan Na_2SO_4 0,050 M dicampurkan dan diaduk menggunakan *hotplate stirrer* dilengkapi

dengan spinbar selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak CaSO_4 dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan CaSO_4 dengan konsentrasi 0,025 M yang terbentuk 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, selanjutnya diambil setiap 10 menit sekali hingga gelas yang terakhir). Kemudian dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring yang telah ditimbang, lalu dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 masing-masing 0,075; 0,100 dan 0,125 M.

Kristal yang terbentuk ditimbang, kemudian dilakukan analisis morfologi menggunakan SEM, analisis struktur kristal menggunakan XRD, dan analisis distribusi partikel menggunakan PSA.

b. Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO_4 dengan penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan pertumbuhan dibuat dari larutan 0,050 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,050 M Na_2SO_4 masing-masing dengan volume inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit konsentrasi 5 % sebanyak 200 mL. Masing-masing larutan dimasukkan ke dalam gelas kimia dan diaduk menggunakan *hotplate stirrer* dilengkapi spinbar selama 15 menit dengan suhu 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan

CaCl₂ anhidrat 0,050 M dan larutan Na₂SO₄ 0,050 M dicampurkan dan diaduk menggunakan *hotplate stirrer* dilengkapi dengan spinbar selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar terbentuk kerak CaSO₄ dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter.

Larutan CaSO₄ dengan konsentrasi 0,025 M yang terbentuk 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, selanjutnya diambil setiap 10 menit sekali hingga gelas yang terakhir). Kemudian dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring yang telah ditimbang, lalu dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam.

Kristal yang terbentuk ditimbang. Percobaan ini diulang dengan variasi konsentrasi larutan CaCl₂ dan Na₂SO₄ masing-masing 0,075; 0,100 dan 0,125 M serta pada variasi konsentrasi inhibitor 15, 25, dan 35 %.

Kemudian dicari dan dipilih konsentrasi asap cair yang paling efektif dalam menghambat kristal CaSO₄ untuk dianalisis perubahan yang terjadi pada pertumbuhan dan bentuk kristal tersebut menggunakan SEM, XRD dan PSA.

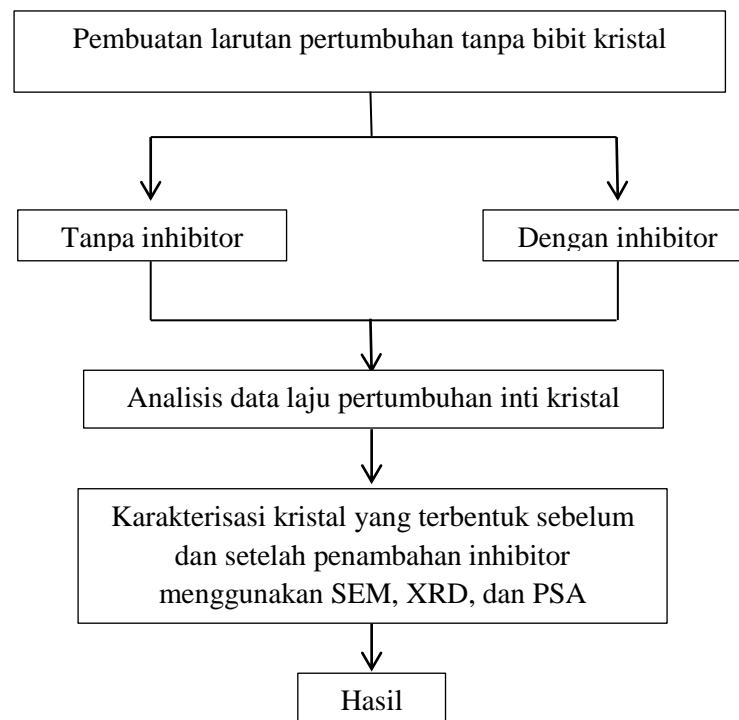
D. Analisa Data

Data yang diperoleh berupa jumlah endapan terhadap waktu dengan variasi konsentrasi larutan pertumbuhan dan variasi konsentrasi inhibitor, masing-masing diplot sebagai jumlah endapan terhadap waktu menggunakan

Microsoft Office Excel 2010. Analisis perubahan struktur kristal CaSO_4 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor menggunakan XRD. Analisis perubahan morfologi kerak CaSO_4 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor menggunakan SEM. Analisis distribusi partikel kristal CaSO_4 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor menggunakan PSA. Analisis gugus fungsi dari inhibitor menggunakan FT-IR serta analisis komponen senyawa kimia dalam inhibitor menggunakan GC-MS.

E. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini, ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



Gambar 14. Diagram alir penelitian

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

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

1. Asap cair pelepah kelapa sawit dapat digunakan sebagai inhibitor dalam menghambat pertumbuhan kerak CaSO_4 dengan cara menghambat laju pertumbuhan inti kristal. Hal ini terlihat dari perbedaan laju pertumbuhan, morfologi struktur dan ukuran partikel kristal CaSO_4 .
2. Nilai persen efektivitas tertinggi diperoleh pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,025 M dengan menggunakan inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit *grade 3* sebanyak 25 % dengan persentase penghambatan 54,72 %.
3. Analisis morfologi permukaan kerak CaSO_4 menggunakan SEM menunjukkan bahwa kristal sebelum penambahan inhibitor berukuran besar, lebar dan padat (gypsum) serta panjang seperti batang (basanit) namun kristal setelah penambahan inhibitor berukuran lebih kecil, panjang

seperti batang dan terdapat sedikit yang berbentuk seperti serabut (anhidrit).

4. Analisis struktur kristal CaSO_4 menggunakan XRD menunjukkan adanya fase kristal gipsum dan basanit pada difraktogram tanpa penambahan inhibitor, sedangkan pada difraktogram setelah penambahan inhibitor muncul fase baru yaitu anhidrit dengan mulai berkurangnya fase gipsum.
5. Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA menunjukkan bahwa ukuran partikel rata-rata kerak CaSO_4 mengalami penurunan setelah penambahan inhibitor asap cair pelepah kelapa sawit terlihat dari nilai rata-rata dan nilai tengah ukuran partikel kerak CaSO_4 sebelum penambahan inhibitor dan setelah penambahan inhibitor.

B. Saran

Untuk meningkatkan mutu penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran yaitu perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut terhadap penghambatan kerak CaSO_4 dengan menambah variasi konsentrasi inhibitor dengan metode yang sama. Selain itu, perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut dengan metode yang sama dan asap cair pelepah kelapa sawit *grade 2*.

DAFTAR PUSTAKA

- Addicott, J. F., Aho, J. M., Antolin, M. F., Padilla, D.K., Richardson, J. S., and Soluk, D. A. 1987. Ecological Neighborhoods: Scaling Environmental Patterns. *Oikos*. Vol 49. Pp 340-346.
- Albab, S. A. 2016. Variasi Temperatur Pembentukan Kristal CaSO_4 pada Konsentrasi Larutan 3000 ppm dengan Laju Aliran 30 mL/Menit. *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Semarang. Semarang.
- Al-Deffeeri, N. S. 2007. Heat Transfer Measurement as A Criterion for Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plants in Kuwait. *Desalination*. Vol 204. Pp 423-436.
- Al-Sofi, M. A. K., Hamada, T., Tanaka, Y., and Al-Sulami, A. S. 1994. *Laboratory Testing of Antiscalant Threshold Effectiveness*. Presented in the Second Gulf Water Conference, Bahrain. Vol 1. P 66.
- 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*. Vol. 66. Pp. 1529-1536.
- Anggraeni, R. 2018. Penggunaan Asap Cair dari Tempurung Kelapa sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) dengan Metode Seeded Experiment. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Antony, A., Low, J. H., Grey, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., and Leslie, G. 2011. Scale Formation and Control in High Pressure Membrane Water Treatment Systems: A Review. *Journal of Membrane Science*. Vol 383. Pp 1-16.
- Asnawati. 2001. Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak. *Jurnal ILMU DASAR*. Vol 2. Pp 20-26.
- Azmi, B., Wibisono, dan Saputro, A. H. 2017. Pengukuran *Scaling* pada Pipa Menggunakan Tomografi Gamma *Parallel Beam*. Vol. 13. Pp 1-10.

- Azimi, G., and Papangelakis, V. G. 2011. Mechanism and Kinetics of Gypsum-Anhydrite Transformation in Aqueous Electrolyte Solutions. *Hydrometallurgy*. Vol 108. Pp 122-129.
- Bhatia, A. 2003. *Cooling Water Problem and Solutions*. Continuing Education and Development, Inc. New York. Course No: M05-009.
- Cahyadi, W. 2006. *Analisis dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G. S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scales and Deposits*. Pp 701-720.
- Choi, B. C. K., Tennessee, L. M., and Eijkemans, G. J. M. 2001. Developing Regional Workplace Health and Hazard Surveillance in The Americas. *Pan American Journal of Public Health*. Vol 10. Pp 376-381.
- Cowan, J. C. and Weintritt, D. J. 1976. *Water Formed Scale Deposit*. Gulf Publishing Co. Houston, Texas. Pp 1-484.
- Cullity, B. D. 1987. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wisley Publishing Company. New York. Pp 493-496.
- David, G. W. 2005. *Analisis Farmasi, Edisi Kedua*. EGC. 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. In *Mineral Scale Formation and Inhibition* (ed. Amjad, Z). *Springer Science*. New York. Pp 33-46.
- Demadis, K. D., Lykoudis, P., Raptis, R. G., and Mezei, G. 2006. Phosphonopolycarboxylates as Chemical Additives for Calcite Scale Dissolution and Metallic Corrosion Inhibition Based On a Calcium-Phosphonotricarboxylate Organic-Inorganic Hybrid. *Crystal Growth and Design*. Vol 6. Pp 1064-1067.
- Demadis, K. D., Anagnostou, Z., and Zhao, H. 2009. Novel Calcium Carboxyphosphonate / Polycarboxylate Inorganic-Organic Hybrid Materials from Demineralization of Calcitic Biomineral Surfaces. *ACS Applied Materials and Interfaces*. Vol 1. Pp 35-38.
- Donachy, J. E. and Sikes, C. S. 1994. Thermal Polycondensation Synthesis of Biomimetic Serine-Containing Derivatives of Polyaspartate: Potent Inhibitors of Calcium Carbonate and Phosphate Crystallization. *Journal of Polymer Science*. Vol 32. Pp 789-795.

- Drozd, J. 1975. Chemical Derivatization in Gas Chromatography. *Journal of Chromatography*. Vol 113. Pp 303-356.
- Etzler, F. M. 2004. Particle Size Analysis: A Comparison of Methods. *American Pharmaceutical Review*. American. Vol 14. Pp 278-282.
- Fessenden, R. J. dan Fessenden, J. S. 1986. *Kimia Organik Dasar*. Jilid 1. Alih Bahasa oleh A. H. Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta. Hal 319-326.
- Gangolli, S. 1999. *The Dictionary of Substances and Their Effects: C*. Royal Society of Chemistry. United Kingdom. P 862 .
- Gill, J. S. 1999. A Novel Inhibitor For Scale Control in Water Desalination. *Desalination*. Pp 43-50.
- Girard, J. P. 1992. *Technology of Meat and Meat Product Smoking*. Ellis Harwood. New York. Pp 162–201.
- Halimatuddahlia. 2003. Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi. *Laporan Penelitian Universitas Sumatera Utara*. Medan. Hal 1-8.
- Hamed, A., Osman, M. A. K., Al-Sofi, M. G., Mustafa and Dalvi, A. G. 1997. The Performance of Different Antiscalants in Multi-Stage Flash Distillers. *Acquired Experience Symposium*. Al-Jubail. Pp 1558-1574.
- Handayani, A. dan Sitompul, A. S. 2006. Teknik Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM-EDAX. *Makalah Kunjungan dan Demo PTBIN BATAN*. Serpong.
- Harjono, S. 1992. *Spektroskopi Inframerah Edisi Pertama*. Liberty. Yogyakarta. 146 hlm.
- Hasson, D. and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. Vol. 46. Pp 97-104.
- He, S., Kan, A.T., and Tomson, M. B. 1999. Inhibition of Calcium Carbonate Precipitation in NaCl Brines From 25 to 90 °C. *Applied Geochemistry*. Pp 17-25.
- Hidayat, T dan Qomaruddin. 2015. Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis dan Bahan Biomassa Terhadap Kapasitas Hasil pada Alat Pembuat Asap Cair. *Prosiding SNST ke-6*. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. Pp 29-34.
- Holysz, L., A. Szczes, and E. Chibowski. 2007. Effect of Carboxylic Acids on Water and Electrolyte Solution. *Journal of Colloid and Interface Science*. 316:65-1002.

- Jones, D.A. 1996. *Principles and Prevention of Corrosion 2nd edition*. Prentice Hall. USA.
- Jones, P. W. and Williams, D. R. 2002. Chemical Speciation Simulation Used To Assess The Efficiency of Environment-Friendly EDTA Alternatives for Use in The Pulp and Paper Industry. *Inorganica Chimica Acta*. Pp 41-50.
- Jones, F., Oliveira, A., Rohl, A., Ogden, M., and Parkinson, G. 2006. Understanding The Mechanism by Which Nitrilotriacetic Acid Interacts with Precipitating Barium Sulfate. *Crystal Engineering Communications*. Vol 8. Pp 869-876.
- Knepper, T. P. 2003. Synthetic Chelating Agents and Compounds Exhibiting Complexing Properties In The Aquatic Environment. *Trends in Analytical Chemistry*. Vol 22. Pp 708-724.
- Kołodziejka, D. 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. Pp 339-371.
- Kurniawan, Y. H. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) menggunakan Metode Unseeded Experiment. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Lestari, D. E. 2000. Penelusuran Unsur Pembentuk Kerak pada Sistem Pendingin Sekunder Reaktor GA Siwabessy dengan Metoda Analisis Aktivasi Neutron (AAN). *Prosiding Hasil Penelitian P2TRR*. Pp 115-121.
- Lestari, D. E., Sunaryo, G. R., Yulianto, Y. E., Alibasyah, S., dan Utomo, S. B. 2004. Kimia Air Reaktor Riset G.A. Siwabessy. *Makalah Penelitian P2TRR dan P2TKN BATAN*. Serpong.
- Lestari, D. E. 2008. *Kimia Air, Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Riset*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN. Serpong.
- Luditama, C. 2006. Isolasi dan Pemurnian Asap Cair Berbahan Dasar tTempurung dan Sabut Kelapa Secara Pirolisis dan Destilasi. *Skripsi*. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Maley, M. 1999. Inhibition of Calcite Nucleation and Growth Using Phoshonate. *Thesis*. Curtin University of Technology Western Australia. Australia. Pp 43.
- Manoli, F., Kanakis, J., Malkaj, P., and Dalas, E. 2002. The Effect of Aminoacids on The Crystal Growth of Calcium Carbonate. *Journal of Crystal Growth*. Pp 363-370.

- Maulina, S., Fakhradila, dan Nurtahara. 2018. Ekstraksi Asap Cair dari Pelepah Kelapa Sawit menggunakan Pelarut Etil Asetat dan Heksana. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol. 7. Pp 28-32.
- Merdhah, A. B. B. and Yassin, A. A. M. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *Journal of Applied Sciences*. Vol 17. Pp 2393-2403.
- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Sediono, W., Mangestiyono, W., and Sutrisno. 2012. Development of a Versatile Laboratory Project for Scale Formation and Control. *Education for Chemical Engineers*. Pp 78-84.
- Nurhayati, T., Desviana dan Sofyan, K. 2005. Tempurung Kelapa Sawit (TKS) sebagai Bahan Baku Alternatif untuk Produksi Arang Terpadu dengan Pyrolegneous / Asap Cair. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. Vol 3. Pp 39-44.
- Patel, S. and Finan, M. A. 1999. New Antifoulants for Deposit Control in MSF and MED Plants. *Desalination*. Vol 1. Pp 63-74.
- Patton, C. 1981. *Oilfield Water System*. 2nd ed. Campbell petroleum series. Vancouver, USA.
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., and Engel, R. G. 2006. *Introduction to Organic Laboratory Techniques : A Microscale Approach*. 4th ed. Brooks/Cole Laboratory Series for Organic Chemistry. USA.
- Pertiwi, A. U. 2018. Studi Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Grade 2 sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) menggunakan Metode Seeded Experiment. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Pszczola, D. E. 1995. Tour Highlights Production and Uses of Smoke Base Flavors. *Food Technology*. Vol 1. Pp 70-74.
- Rahmalinda, Amri, dan Zutiniar. 2014. Studi Komparasi Karakteristik Asap Cair Hasil Pirolisis dari Kulit Durian, Pelepah dan Tandan Kosong Sawit dengan Pemurnian secara Distilasi. *Jurnal Online Mahasiswa*. Vol 1. 9 hlm.
- Salimin, Z., dan Gunandjar. 2006. Penggunaan EDTA sebagai Pencegah Timbulnya Kerak pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair. *Prosiding PPI – PDIPTN*. Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN. Yogyakarta.
- Sari, R. P. 2011. *Studi Penanggulangan Problem Scale dari Near-Wellbore hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*. Fakultas Teknik UI. Depok.

- Shiddiq, F. M. 2014. Pemanfaatan Biji Pinang Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3) dengan Metode Unseeded Experiment. *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Sikirić, M. D. and Milhofer, H. F. 2006. The Influence of Surface Active Molecules on The Crystallization of Biominerals in Solution. *Advances in Colloid and Interface Science*. Pp 135–158.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., and Crouch, S. R. 2007. *Principles of Instrumental Analysis*. Thomson Higher Education. USA. P 461.
- Stamatakis, E., Chatzichristos, C., Sagen, J., Stubos, A. K., Palyvos, I., Muller, J., and Stokkan J.-A. 2006. An Integrated Radiotracer Approach for The Laboratory Evaluation of Scale Inhibitors Performance in Geological Environments. *Chemistry English Science*. Pp 7057-7067.
- Soediono, W., Bayuseno, A. P., dan Muryanto, S. 2011. Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum dengan Konsentrasi Ca^{2+} ; 3500 ppm dan Aditif Fe^{2+} . *Momentum*. Vol 7. Pp 41-44.
- Stolyhwo, A., dkk. 2005. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoke Fish-A Critical Review. *Food Chemistry*. Pp 303-311.
- Subdirektorat Statistik Tanaman Perkebunan. 2018. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2017*. Badan Pusat Statistik. Hal 9-10.
- Suharso. 2005. Growth of the (001) Face of Borax Crystals. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol 5. Pp 98-100.
- Suharso. 2005a. Characterization of Surface of the (010) Face of Borax Crystals Using Ex Situ Atomic Force Microscopy (AFM). *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol 5. Pp 274-277.
- Suharso. 2005b. In Situ Measurement of the Growth Rate of the (111) Face of Borax Single Crystal. *Jurnal Matematika & Sains*. Vol 10. Pp 101-106.
- Suharso. 2005c. Characterization of Surface of the (100) Face of Borax Crystals Using Atomic Force Microscopy (AFM): Dislocation Source Structure and Growth Hillocks. *Jurnal Sains Teknologi*. Vol 11. Pp 105-110.
- Suharso. 2006. Growth Rate Distribution of Borax Single Crystals on The (001) Face Under Various Flow Rates. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol 6. P 16-19.
- Suharso. 2006a. Ex Situ Investigation of Surface Topography of Borax Crystals by AFM: Relation Between Growth Hillocks and Supersaturation Interpreted by Spiral Growth Theory. *Jurnal Matematika & Sains*. Vol 11. Pp 140-145.

- Suharso. 2007. Effect of Sodium Dodecylbenzenesulfonic Acid (SDBS) on the Growth Rate and Morphology of Borax Crystal. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol 7. Pp 5-9.
- Suharso, Parkinson, G., and Ogden, M. 2007. Effect of Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) on The Growth Rate and Morphology of Borax Crystals. *Journal of Applied Sciences*. Vol 7. Pp 1390-1396.
- Suharso, Buhani, Suhartati, T., dan Aprilia, L. 2007a. Sintesis C-Metil-4, 10, 16, 22-Tetrametoksi Kaliks [4] Arena dan Peranannya Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Laporan Akhir Program Insentif*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso. 2008. Mechanism of Borax Crystallization Using Conductivity Method. *Indonesian Journal of Chemistry*. Vol 8. Pp 327-330.
- Suharso, Parkinson, G., and Ogden, M. 2008. AFM investigation of Borax (100) Face: Two-Dimensional Nucleation Growth. *Advances in Natural and Applied Sciences*. Vol 2. Pp 135-141.
- Suharso, Buhani, and Tati Suhartati. 2009. Peranan C-Metil- 4,10,16,22 Tetrametoksi Caliks[4]Arena Sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Indonesian Journal Chemistry*. Vol 9. Pp 206-210.
- Suharso, Buhani, S. Bahri and T. Endaryanto. 2010. The Use of Gambier Extracts from West Sumatra as a Green Inhibitor of Calcium Sulfate (CaSO_4) Scale Formation. *Asian Journal Research Chemistry*. Pp 183-187.
- Suharso dan Buhani. 2011. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *Jurnal Natur Indonesia*. Vol 13. Pp 100-104.
- Suharso dan Buhani. 2012. Penanggulangan Kerak. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. ISBN: 978-979-8510-52-6.
- Suharso. 2012a. Ex Situ Investigation of the Hollow Cores on the Surface Topography of The (100) Face of Borax Crystals by Atomic Force Microscopy (AFM). *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 4 (1).
- Suharso, Buhani, dan Aprilia, L. 2013. Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena Dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Prosiding Semirata*. 1 (1).
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix[4]arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. Vol 26. Pp 6155-6158.

- Suharso, Reno, T., Endaryanto, T., and Buhani. 2017. Modification of Gambier Extracts as Green Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation. *Journal of Water Process Engineering*. Pp 1-6.
- Suharso, Buhani, Yuwono, S. D., and Tugiyono. 2017a. Inhibition of Calcium Carbonate (CaCO_3) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment*. Pp 32-39.
- Suparwaty. 2016. Pengaruh Penggunaan Kemenyan (Styrax Benzoin Dryand) sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4). *Tesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Supratman, U. 2010. *Elusidasi Struktur Senyawa Organik Metode Spektroskopi untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Widya Padjajaran. Bandung. Hal 102-108.
- Sutin. 2008. Pembuatan asap cair dari tempurung dan serabut kelapa secara pirolisis serta fraksinasinya dengan ekstraksi. *Skripsi*. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Svehla, G. 1990. Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Alih Bahasa Oleh L. Setiono dan A. H Pudjaatmaka. PT.Kalman Media Pustaka. Jakarta. 656 Hlm.
- Syahri, M. dan Sugiarto, B. 2008. Scale Treatment pada Pipa Distribusi Crude Oil Secara Kimiawi. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri UPN. Yogyakarta.
- Tegethoff, F. W., Rohleder, J., and Kroker, E. 2001. *Calcium Carbonate: From the Cretaceous Period Into the 21st Century*. Springer Science & Business Media. Germany. 324 P.
- Totoki, S., Wada, Y., Moriya, N., and Shimaoka, H. 2007. *DEP Active Grating Method: a New Approach for Size Analysis of Nano-Sized Particles*. Shimadzu Review .Pp 173-179.
- Utari, H. R. 2016. Pengaruh Penggunaan Campuran Ekstrak Gambir dan Kemenyan sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4). *Tesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Wafiroh, S. 1995. Pemurnian Garam Rakyat dengan Kristalisasi Bertingkat. *Laporan Penelitian*. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Webb, P. A. 2004. *The Perseverance of The Sedigraph Method of Particle Sizing*. The SediGraph Method of Particle Sizing. Micromeritics. Pp 1-6.

- Weijnen, M. P. C., Marchee, W. G. J., and Rosmalen, G. M. V. 1983. A Quantification of The Effectiveness of An Inhibitor on The Growth Process of a Scalant. *Desalination*. Pp 81-92.
- Zeihner, E.H.K., Bosco, H., and Williams, K. D. 2003. Novel Antiscalant Dosing Control. *Desalination*. Vol 1. Pp 209-216.
- Zhang, Y. and Dawe, R. A. 2000. Influence of Mg^{2+} on The Kinetics of Calcite Precipitation and Calcite Crystal Morphology. *Chemical Geology*. Pp 129-138.