

**STUDI PEMANFAATAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2*
DAN EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*) SEBAGAI INHIBITOR
KERAK KALSIMUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE
*UNSEEDED EXPERIMENT***

(Skripsi)

Oleh

**Phirena Aulia Erdanta
NPM. 1817011099**



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

2022

ABSTRAK

STUDI PEMANFAATAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2* DAN EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*) SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIMUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE *UNSEEDED EXPERIMENT*

Oleh

Phirena Aulia Erdanta

Abstrak: Terbentuknya kerak pada pipa merupakan masalah yang sering dijumpai pada pabrik industri diantaranya industri minyak dan gas, salah satunya adalah kerak CaSO_4 . Untuk mengatasi masalah tersebut, pada penelitian ini digunakan inhibitor campuran ekstrak kulit nanas (*Ananas comosus*) dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan konsentrasi 5:1; 5:3; 5:5; dan 5:7 dengan kerak kalsium sulfat (CaSO_4) pada konsentrasi 0,100; 0,125; 0,150; dan 0,175 M menggunakan metode *unseeded experiment*. Efektivitas tertinggi terjadi pada konsentrasi larutan pertumbuhan kristal CaSO_4 0,100 M dan konsentrasi perbandingan inhibitor yang ditambahkan 5:7, diperoleh persen efektivitas sebesar 79,51 %. 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 28,85 menjadi 16,14 μm . Dengan demikian, inhibitor campuran ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan kerak CaSO_4 .

Kata kunci: Kerak, CaSO_4 , *Ananas comosus*, *unseeded experiment*, asap cair tempurung kelapa *grade 2*

ABSTRACT**THE STUDY OF ADDITION OF COCONUT SHELL LIQUID SMOKE
GRADE 2 AND PINEAPPLE (*Ananas comosus*) PEEL EXTRACT AS AN
INHIBITOR OF CALCIUM SULFATE (CaSO₄) SCALE USING UNSEEDED
EXPERIMENT METHOD****By****Phirena Aulia Erdanta**

Abstract: Scale formation on the pipes is a problem that is often encountered in industrial plants including the oil and gas industry, one of which is the CaSO₄ scale. To overcome this problem, in this study an inhibitor of a mixture of pineapple peel extract (*Ananas comosus*) and coconut shell liquid smoke grade 2 was used with a concentration of 5:1; 5:3; 5:5; and 5:7 with calcium sulfate (CaSO₄) scale at a concentration of 0.100; 0.125; 0.150; and 0.175 M using the unseeded experiment method. The highest effectiveness occurred at the concentration of 0.100 M CaSO₄ crystal growth solution and the concentration ratio of the inhibitor added was 5:7, the percentage of effectiveness was 79.51%. 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 28.85 to 16.14 μm. Thus, the inhibitor mixture of pineapple peel extract and coconut shell liquid smoke grade 2 can be used to inhibit the growth of CaSO₄ scale.

Keywords: Scale, CaSO₄, *Ananas comosus*, unseeded experiment, coconut shell liquid smoke grade 2

**STUDI PEMANFAATAN ASAP CAIR TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2*
DAN EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*) SEBAGAI INHIBITOR
KERAK KALSIMUM SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE
*UNSEEDED EXPERIMENT***

Oleh

PHIRENA AULIA ERDANTA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

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



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

Judul : **STUDI PEMANFAATAN ASAP CAIR
TEMPURUNG KELAPA *GRADE 2* DAN
EKSTRAK KULIT NANAS (*Ananas comosus*)
SEBAGAI INHIBITOR KERAK KALSIMUM
SULFAT (CaSO_4) MENGGUNAKAN METODE
*UNSEDED EXPERIMENT***

Nama : **Phirena Aulia Erdanta**

No. Pokok Mahasiswa : 1817011099

Jurusan : Kimia

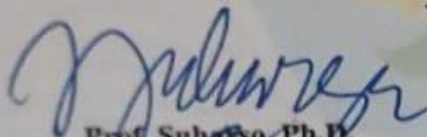
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

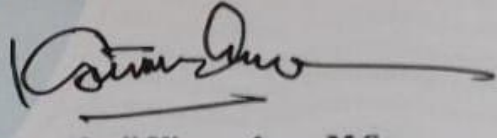
MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

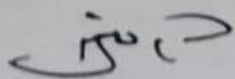
Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Subianto, Ph.D.
NIP.196905301998121001


Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.
NIP.197007052005011003

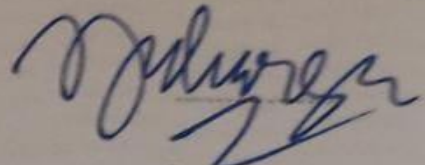
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Mulyono, Ph.D
NIP.197406112000031002

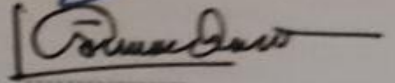
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Suharso, Ph.D.

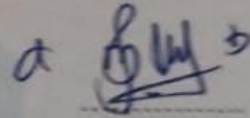


Sekretaris : Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc.



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Mita Rilyanti, M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 5 Oktober 2022

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan dibawah ini.

Nama : Phirena Aulia Erdanta
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011099
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "**Studi Pemanfaatan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* dan Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment***" adalah bnar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Bandar Lampung, Oktober 2022

Yang Menyatakan



Phirena Aulia Erdanta

NPM. 1817011099

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Phirena Aulia Erdanta dilahirkan di Bogor, 26 Januari 2000 yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Erwin Sabirin dan Ibu Yunita Ria, S.Pd. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Indria Bogor pada Tahun 2006 dan melanjutkan ke Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 2 Way Dadi Sukarame Bandar Lampung pada Tahun 2012, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Swasta Gajah Mada Bandar Lampung lulus pada Tahun 2015, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA YP UNILA Bandar Lampung pada Tahun 2018, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa kimia, penulis juga aktif berorganisasi mulai sebagai kader muda dan anggota inti Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) periode 2019 dan Garuda Muda BEM-FMIPA periode 2020. Pada tahun 2019, penulis aktif di HIMAKI sebagai anggota Biro Penerbitan (BP) dan menjadi staff ahli Dinas Pemberdayaan Wanita di BEM-FMIPA. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila di Desa Tanjung Tirta Kecamatan Way Bungur dan Kunjungan Industri (KI) pada Tahun 2019. Tahun 2021, penulis telah menyelesaikan praktik kerja lapangan (PKL) yang berjudul Studi Pemanfaatan Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment* di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Rajabasa Raya Kota Bandar Lampung selama 38 hari pada bulan Februari-

Maret 2022 serta pada bulan Maret-Juni 2022 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang diberi judul “Studi Pemanfaatan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* dan Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*”.

MOTTO

“Allah is the protector of the believers. He brought them out of darkness into light (faith).”

(Q.S. AI-BAQARAH : 257)

“It is Allah who guides whom He wills.”

(Q.S. AI-BAQARAH : 272)

“Allah does not charge a soul except with that within its capacity.”

(Q.S. AL-BAQARAH : 286)

“Seek knowledge when you are poor, it will be your treasure. When you are rich, it will be your jewelry.”

(Luqman Al-Hakim)

“People are not getting dumber. Dumb people are getting louder.”

(The Weird World)

“If you can not make a mistake, you can not make anything”

(Freaky Theory)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan mengucapkan Alhamdulillahil'alamina segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT. atas limpahan rahmat dan karunia-Nya kepadaku, serta shalawat teriring salam kuhaturkan kepada Baginda

Nabi Muhammad SAW. Kupersembahkan sebuah karya ilmiah

Skripsi ini kepada:

Kedua orang tuaku tersayang, Papa dan Mamaku yang tak henti-hentinya selalu memberikan doa, kasih sayang, motivasi, semangat dan dukungan dalam mendukung keberhasilanku, serta adikku dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan kehangatan, keceriaan dan semangat kepadaku.

Dengan rasa hormat terima kasih kepada Bapak Prof. Suharso, Ph.D., Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., dan Dr. Mita Rilyanti, M.Si., serta seluruh Dosen Jurusan Kimia yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang bermanfaat kepadaku hingga bisa menyelesaikan pendidikan selama kurang lebih empat tahun ini.

Sahabat dan teman-temanku yang selalu memberikan keceriaan, kehangatan, dan kebahagiaan, serta memberikan pelajaran yang sangat berharga dalam hidupku. Terima kasih sudah menemani dan berjuang bersamaku selama menempuh pendidikan Sarjana ini.

Dan almamater tercinta, Universitas Lampung.

SANWACANA



Segala puji dan syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, karunia dan limpahan ridho-Nya yang tiada tara, Shalawat serta salam tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul:

“Studi Pemanfaatan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2* dan Ekstrak Kulit Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Inhibitor Kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4) Menggunakan Metode *Unseeded Experiment*”

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu mendengarkan do'a dan mengabulkan doa penulis selama ini sepanjang hidup penulis dan melindungi penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan Skripsi ini tepat waktu.
2. Kepada kedua orang tua penulis Bapak Erwin Sabirin dan Ibu Yunita Ria, S.Pd. tercinta yang selalu tak henti-hentinya memberikan doa, dukungan, kasih sayang, nasihat, semangat, motivasi, dan materi untuk keperluan kuliah dan sekolah penulis. Terimakasih atas perjuangan dan pengorbanan yang telah Papa dan Mama lakukan untuk kakak. Semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan hingga menuju surga-Nya, diberikan kesehatan dan umur yang panjang agar bisa selalu mendampingi dan

menyaksikan perjalanan hidup kakak untuk membahagiakan kalian kelak di dunia maupun di akhirat dan dimurahkan rezekinya untuk kita sekeluarga; *Aamiin Allahuma Aamiin*.

3. Adik-adikku Alfian Naldo Erdanta dan Arie Ramadhan Erdanta yang telah memberikan semangat, keceriaan dalam hidup penulis sehingga dapat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Ir. Suharso, Ph.D., selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, keikhlasan, kemudahan dan kesabaran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
5. Bapak Dr. Agung Abadi Kiswandono, M.Sc., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan, bimbingan, arahan, ilmu, nasihat, saran, dan kemudahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
6. Ibu Dr. Mita Rilyanti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembahas yang memberikan bimbingan, saran, kritik dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan Ibu dan diberikan yang terbaik baik di dunia maupun di akhirat kelak.
7. Ibu Dr. Dian Herasari, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik, penulis mengucapkan terimakasih atas ketersediaan Ibu dalam memberikan bimbingan perkuliahan, nasihat yang bermanfaat kepada penulis.
8. Bapak Mulyono, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

9. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
10. Seluruh dosen Kimia FMIPA Unila terima kasih atas segala ilmu, pengalaman, motivasi dan nasihat selama perkuliahan. Semoga Allah SWT membalas kebaikan Bapak dan Ibu.
11. Seluruh civitas dan akademika Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas dukungan dan bantuan kepada penulis.
12. Ibu Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si., selaku Kalab Anorganik/Fisik dan Mbak Liza Apriliya, S.Si., selaku laboran yang menyediakan alat di laboratorium dan kemudahan dalam mengurus berkas, semoga selalu diberkahi oleh Allah SWT.
13. Saudara Vincent Ferdinadl yang telah memberikan penulis semangat, dukungan, motivasi, do'a dan bantuannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar. Semoga dimudahkan segala urusan dan sehat selalu. Aamiin.
14. Kakak senior *scale* yaitu Kak Restu, Kak Dewi, Kak Sandi, Kak Nurul, dan Kak Fauzan serta adik *scale* 19 yaitu Novani, Maudy dan Alya terima kasih atas bantuan, arahan, dan dukungan sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Semoga Allah SWT selalu membalas dengan kebaikan yang tak ternilai.
15. Rekan seperbimbingan *research* yaitu Nurul Qomariyah dan Putri Ayu Anggraini terima kasih sudah menjadi sahabat yang memberikan dukungan, motivasi, nasihat dan semangatnya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga kalian dipermudah dalam segala urusannya. Aamiin.
16. Sahabat SMA penulis yaitu Suci, Taaz, Memed, Salsa, Erintya, dan Butet terima kasih sudah memberikan nasihat, masukan, keceriaan, dan

kebersamaannya dalam hidup penulis. Semoga kalian dipermudah dalam segala urusannya. Aamiin.

17. Sahabat dan teman-teman seperjuangan penulis khususnya kelas C yaitu Tri, Savira, Shafa, Sania, Nurkhalisah, Zulfa, Ninid, Zhaafira, Wulandari, Nur Mayana, Rizka Nalia, Ramah Nia, Wulandari Agustin, Reyzka, Salsabila, Yanesta, Salsabila Bethari, Vezhia, Ofriani, Rista, Olivia, Risna, Reni, Polado, Bang Widi, Vincent, Sahrul, Randi, Reyhan, serta teman-teman yang tidak bisa disebutkan satu-satu namanya. Terima kasih telah memberikan semangat, dukungan, nasihat, bantuan, keceriaan yang selalu membuat penulis termotivasi untuk mengerjakan skripsi ini.
18. Teman-teman Laboratorium Anorganik/Fisik yaitu Mba Della, Mba Nadya, Kak Azizah, Kak Arya, Chetrine, Ester, Grace, Iin, Rifki, Atika, Afra, Alivia, Jilda, Khairunisa, Gustin, Natasha, Nia Mardanti dan Mey Dhea terima kasih atas dukungan dan sudah banyak membantu penulis selama di Lab dan menyelesaikan skripsi ini.
19. Teman-teman KKN Kelurahan Rajabasa Raya Kota Bandar Lampung yaitu Vincent, Salsa, Beta, Vei, dan Polado terima kasih atas kebersamaannya selama 38 hari yang menyenangkan dan memberikan semangat dan dukungan kepada penulis. Semoga kalian dipermudah dalam segala urusannya. Aamiin.
20. Seluruh keluarga besar mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung Angkatan 2018 yang telah memberikan semangat dan bantuannya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar.

21. Almamater tercinta Universitas Lampung.
22. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, dan doa yang dipanjatkan. Semoga kebaikan yang diberikan selama ini mendapat balasan dari Allah SWT.

Bandar Lampung, Oktober 2022

Penulis

Phirena Aulia Erdanta

DAFTART ISI

DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kerak.....	5
2.2 Mekanisme Pembentukan Kerak.....	6
2.2.1 Tahap Pembentukan Inti (Nukleasi).....	8
2.2.2 Tahap Pertumbuhan Inti.....	8
2.2.3 Tahap Pengendapan.....	9
2.3 Kalsium Sulfat (CaSO ₄).....	9
2.4 Kerak Kalsium Sulfat.....	11
2.5 Faktor Pembentuk Kristal.....	11
2.5.1 Kristalisasi.....	12
2.5.2 Kelarutan Endapan.....	12
2.5.3 Derajat Lewat-Jenuh (Supersaturasi).....	14
2.6 Pembentukan Kerak.....	15
2.6.1 Pembentukan Inti.....	16
2.6.2 Pertumbuhan Inti.....	16
2.6.3 Pengendapan.....	17
2.7 Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak.....	17
2.7.1 Pengendalian pH.....	17
2.7.2 Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air.....	18
2.7.3 Penggunaan Inhibitor Kerak.....	18
2.8 Mekanisme Inhibitor Kerak.....	20
2.8.1 Penghambat Ambang Batas.....	20

2.8.2	Khelat.....	21
2.8.3	Distorsi Kristal.....	22
2.9	Nanas	24
2.10	Ekstrak Kulit Nanas	24
2.11	Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	25
2.12	<i>Unseeded Experiment</i>	27
2.13	<i>Fouier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)</i>	27
2.14	<i>Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	28
2.15	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	30
2.16	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	31
2.17	<i>Particle Size Analyzer (PSA)</i>	33
III. METODE PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
3.2	Alat dan Bahan	36
3.3	Prosedur Penelitian	37
3.3.1	Pembuatan Ekstrak Kulit Buah Nanas.....	37
3.3.2	Pembuatan Variasi Konsentrasi Inhibitor dari Asap Cair Tempurung Kelapa	37
3.3.3	Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Kulit Buah Nanas dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i>	38
3.3.4	Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ .	39
3.4	Analisis Data.....	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Uji Ketahanan Larutan Inhibitor.....	42
4.2	Analisis Gugus Fungsi Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> dan Ekstrak Kulit Nanas Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah (IR)	43
4.3	Analisis Komponen Senyawa Kimia Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> dan Ekstrak Kulit Nanas Menggunakan <i>Gas Chromatorgraphy-Mass Spectrometer (GC-MS)</i>	46
4.4	Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ Tanpa Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode	

<i>Unseeded Experiment</i>	50
4.5 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Kulit Nanas	52
4.6 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	53
4.6.1 Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO ₄ dengan Perbandingan Inhibitor Campuran Ekstrak Kulit Nanas dan Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2 (NA)</i>	55
4.6.2 Penentuan Laju Pertumbuhan Kerak CaSO ₄ pada Variasi Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Penambahan Inhibitor NA (5:7) Menggunakan Metode <i>Unseeded Experiment</i>	57
4.6.3 Penentuan Laju Pertumbuhan Kristal CaSO ₄ dengan Variasi Konsentrasi Inhibitor NA (5:7).....	58
4.7 Perbandingan Larutan Pertumbuhan CaSO ₄	60
4.8 Analisis Permukaan Kerak CaSO ₄ Menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	61
4.9 Analisis Struktur Kerak CaSO ₄ dengan XRD	63
4.10 Analisis Distribusi Ukuran Partikel Kerak CaSO ₄ dengan PSA	65
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Simpulan.....	68
5.2 Saran	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Komponen kimia asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> hasil GC-MS.....	27
2. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	38
3. Gugus fungsi asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	45
4. Gugus fungsi ekstrak kulit nanas	46
5. Komponen-komponen asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	47
6. Komponen-komponen ekstrak kulit nanas	49
7. Data presentase efektivitas inhibitor ekstrak kulit nanas pada konsentrasi larutan pertumbuhan 0,100 dan 0,125 M	53
8. Nilai pH campuran ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	54
9. Nilai pH larutan pertumbuhan CaSO ₄ sebelum dan sesudah penambahan inhibitor	54
10. Data presentase efektivitas inhibitor pada kerak CaSO ₄	56
11. Nilai pH variasi konsentrasi inhibitor ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> (5:7).....	57
12. Nilai pH larutan pertumbuhan CaSO ₄ sebelum dan sesudah penambahan inhibitor NA (5:7)	58
13. Data presentase efektivitas inhibitor NA (5:7) pada kerak CaSO ₄	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Endapan kerak kalsium sulfat dalam pipa.....	5
2. <i>Hemihydrate</i> ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$)	10
3. <i>Dihydrate</i> ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).....	10
4. Diagram temperatur konsentrasi	14
5. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal	19
6. Mekanisme penghambatan inhibitor	23
7. Warna asap cair tempurung kelapa	25
8. Skema kerja <i>Spectrophotometer Infra Red</i>	28
9. Skema alat GC-MS	29
10. Skema instrumentasi SEM	30
11. Morfologi kerak CaSO_4 pada morfologi kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,050 M (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor 350 ppm pada besaran 2000 kali	31
12. Skema alat difraksi sinar-X.....	32
13. Difaktogram data standar CaSO_4 fase (a) anhidrit (b) gipsum (c) basanit.....	33
14. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf.....	35
15. Perubahan ekstrak kulit nanas (A) tanpa penambahan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> selama 3 minggu dan (B) dengan penambahan asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i> setelah didiamkan selama 2 bulan.....	43
16. Spektrum IR asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	44
17. Spektrum IR ekstrak kulit nanas	44
18. Hasil analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) asap cair tempurung kelapa <i>grade 2</i>	46
19. Hasil analisis <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry</i> (GC-MS) ekstrak kulit nanas.....	48
20. Grafik perbandingan laju pertumbuhan kristal CaSO_4 dengan konsentrasi larutan pertumbuhan berbeda	51

21. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan inhibitor ekstrak kulit nanas pada (a.) konsentrasi larutan pertumbuhan 0,100 M (b) konsentrasi larutan pertumbuhan 0,125 M	52
22. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan inhibitor NA pada konsentrasi larutan pertumbuhan (a) 0,100 M (b) 0,125 M (c) 0,150 M (d) 0,175 M.....	55
23. Grafik laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan inhibitor NA (5:7) dengan konsentrasi larutan pertumbuhan (a) 0,100 M (b) 0,125 M (c) 0,150 M dan (c) 0,175 M	59
24. Perbandingan larutan pertumbuhan 0,100 M (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor NA (5:7) pada konsentrasi 250 ppm	60
25. Kerak CaSO_4 0,100 M tanpa penambahan inhibitor (a) dan dengan penambahan inhibitor (b) NA (5:7) dengan konsentrasi 150 ppm	61
26. Mikrograf kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,100 M dengan perbesaran 2500x tanpa penambahan inhibitor NA (5:7) (a) dan dengan penambahan inhibitor NA (5:7) sebesar 150 ppm (b)	61
27. Mikrograf kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,100 M dengan perbesaran 5000x tanpa penambahan inhibitor NA (5:7) (a) dan dengan penambahan inhibitor NA (5:7) sebesar 150 ppm (b)	62
28. Difaktogram CaSO_4 tanpa penambahan dan dengan penambahan inhibitor NA (5:7) dengan konsentrasi 150 ppm	64
29. Distribusi ukuran partikel CaSO_4	66

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor-sektor industri di Indonesia yang mencakup proses perindustrian, khususnya penggunaan pipa pada pabrik industri sering dijumpai adanya masalah-masalah yang dapat mengganggu aliran fluida untuk melewati pipa. Salah satunya adalah penumpukan kerak (*scale*) pada pipa yang dapat menyebabkan terhambatnya aliran fluida dan memperkecil diameter pada sistem pipa tersebut. Timbulnya kerak pada pipa tersebut disebabkan oleh terjadinya pengendapan garam pada dinding-dinding peralatan proses aliran fluida, terutama pada permukaan transfer panas dan permukaan alat-alat evaporasi (Suharso *et al.*, 2009). Hambatan yang terjadi pada aliran fluida tersebut dapat menyebabkan terganggunya aliran fluida sehingga suhu akan semakin naik dan tekanan menjadi semakin tinggi, akhirnya pipa akan cepat pecah dan rusak (Asnawati, 2001). Oleh sebab itu, biaya yang harus dikeluarkan untuk keperluan pembersihan dan pencegahannya juga tinggi, dimana salah satu contohnya adalah PT. Pertamina Indonesia yang menghabiskan sekitar 6 hingga 7 juta dolar atau setara dengan 80 hingga 100 miliar rupiah untuk mengganti setiap pipa pada bagian geotermal setiap 10 tahun untuk mengatasi masalah kerak tersebut (Suharso *et al.*, 2017).

Kerak didefinisikan sebagai tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Jika konsentrasi siklus ini dibiarkan berlanjut, berbagai kelarutan padat akhirnya akan terlampaui. Padatan tersebut kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, dimana ia sering membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003). Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena

pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut diantaranya yaitu kandungan ion, temperatur, kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, kehadiran pengotor zat aditif dan waktu kontak intermolekuler (Muryanto *et al.*, 2012).

Cara yang dapat digunakan untuk menghambat pembentukan kerak adalah dengan menambahkan zat penghambat (*scale inhibitor*) pada kerak (Suharso *et al.*, 2013). Inhibitor kerak pada umumnya merupakan bahan kimia yang sengaja ditambahkan untuk mencegah atau menghentikan terbentuknya kerak bila ditambahkan dengan konsentrasi kecil kedalam air (Halimatuddahlia, 2003). Penggunaan bahan kimia tersebut sangat menarik, karena dengan dosis yang sangat rendah dapat mencukupi untuk mencegah kerak dalam periode yang lama (Cowan *and* Weintritt, 1976). Pencegah terbentuknya kerak pada pipa pabrik khususnya dalam peralatan pabrik industri adalah dengan menginjeksikan bahan-bahan kimia yang dapat mencegah kerak (*scale inhibitor*), seperti memanfaatkan ekstrak kulit buah nanas sebagai salah satu inhibitor pada penelitian ini.

Nanas atau dalam bahasa latin *Ananas comosus* berasal dari Brazilia dan Paraguay. Nanas merupakan salah satu tanaman buah yang dibudidayakan petani di Indonesia, khususnya daerah penghasil nanas terbesar yaitu provinsi Lampung. Dimana, volume produksi di daerah tersebut mencapai 699.243 ton atau sekitar 31.84 % dari total produksi nanas nasional pada tahun 2019. Hingga saat ini, Lampung memiliki dua perusahaan besar di sektor perkebunan yang memproduksi nanas dalam skala besar, salah satunya adalah PT. *Great Giant Pineapple* yang terletak di Lampung Tengah dan juga Lampung Timur. Sehingga, pada penelitian ini digunakan inhibitor berupa kulit nanas yang nantinya diekstrak dan dicampurkan dengan asap cair tempurung kelapa *grade 2* agar lebih efisien.

Efisiensi dalam mengendalikan kerak CaSO_4 dapat pula dilakukan dengan menggunakan inhibitor berupa asap cair tempurung kelapa *grade 2* yang merupakan cairan kondensat dari asap yang telah mengalami penyimpanan dan penyaringan

untuk memisahkan tar dan bahan-bahan partikulat. Selama proses pembakaran berlangsung, komponen tempurung kelapa seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang akan mengalami pirolisa menghasilkan tiga kelompok senyawa yaitu senyawa yang mudah menguap yang dapat dikondensasikan, gas yang tidak dapat dikondensasikan dan zat padat berupa arang.

Komposisi asap yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah kadar air dan suhu pembakaran yang digunakan. Tempurung kelapa memiliki kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi, sehingga baik digunakan sebagai bahan pembuatan asap cair karena dapat menghasilkan aroma yang lebih baik serta lebih kaya kandungan senyawa aromatik dan senyawa asamnya. Senyawa asam yang terdapat pada asap cair tempurung kelapa dapat membantu menghambat pembentukan kristal pada kerak CaSO_4 .

Pemilihan perpaduan antara inhibitor yang digunakan yaitu ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak karena ekstrak kulit nanas mengandung senyawa bromelin, flavonoid, tanin, oxalat, antosianin dan vitamin c serta asap cair tempurung kelapa *grade 2* yang mengandung senyawa fenolik, asam asetat, asam butirat, asam propionat, dan karbonil sehingga dapat digunakan sebagai *green* inhibitor pertumbuhan kerak CaSO_4 pada pipa-pipa industri yang ramah lingkungan. Adanya kandungan asam asetat, asam butirat, dan asam propionat pada asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat meningkatkan kualitas ekstrak kulit nanas sehingga tidak mudah berjamur dan dapat disimpan dalam waktu yang lama. Oleh karena itu, pada penelitian ini mempelajari efektivitas ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor pembentukan kerak kalsium sulfat (CaSO_4) dengan metode *unseeded experiment*.

Adapun analisis gugus fungsi inhibitor dilakukan menggunakan spektrofotometer IR dan untuk mengetahui komponen senyawa kimianya dianalisis menggunakan GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectrometry*), efektifitas inhibitor dalam

menghambat pertumbuhan kerak CaSO_4 dengan metode *unseeded experiment* diketahui berdasarkan analisis data. Analisis morfologi CaSO_4 dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), analisis struktur kerak CaSO_4 menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD), sedangkan distribusi ukuran partikelnya diukur menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh penambahan ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kalsium sulfat (CaSO_4) pada konsentrasi yang bervariasi.
2. Mengetahui presentase keefektifan ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor kerak kalsium sulfat (CaSO_4) dengan metode *unseeded experiment* melalui analisis data dan karakterisasi menggunakan SEM, XRD, dan PSA.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah untuk dapat memberikan informasi mengenai kemampuan ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* dalam menghambat pertumbuhan kerak kalsium sulfat (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

2.1 Kerak

Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kemmer, 1979). Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh yang menyebabkan beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut kembali jika ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis sementara itu kristal-kristal akan berkembang bila ukurannya lebih besar dari partikel kritis. Apabila ukuran inti kristal menjadi lebih besar dari inti kritis, maka akan mulailah pertumbuhan kristal, dari kristal kecil membentuk kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak). Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008; Hasson *and* Semiat, 2005).

Adanya endapan kerak pada komponen-komponen peralatan pabrik industri dapat menghambat aliran fluida pada pipa yang disebabkan karena adanya penyempitan volume alir fluida serta penambahan kekasaran permukaan pipa bagian dalam, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Endapan kerak kalsium sulfat dalam pipa (Crabtree et al., 1999)

Kerak juga dapat terbentuk karena campuran air yang digunakan tidak sesuai. Campuran air tersebut tidak sesuai jika air berinteraksi secara kimia dan mineralnya mengendap jika dicampurkan. Contoh tipe air yang tidak sesuai adalah air laut dengan konsentrasi SO_4^{2-} tinggi dan konsentrasi Ca^{2+} rendah dan air formasi dengan konsentrasi SO_4^{2-} sangat rendah tetapi konsentrasi Ca^{2+} tinggi. Campuran air ini menyebabkan terbentuknya endapan CaSO_4 (Badr dan Yassin, 2007).

Menurut Lestari (2008) komponen khas kerak yang sering dijumpai adalah sebagai berikut, (i) kalsium sulfat (CaSO_4), (ii) kalsium karbonat (CaCO_3 : turunan dari kalsium bikarbonat), (iii) kalsium dan seng fosfat, (iv) kalsium fosfat, sejumlah besar kalsium dan ortofosfat. Biasanya dikarenakan air terlalu sering dirawat, (v) silika dengan konsentrasi tinggi, (vi) besi dioksida, senyawa yang disebabkan oleh kurangnya kontrol korosi atau alami berasal dari besi yang teroksidasi, (vii) besi fosfat, senyawa yang disebabkan karena pembentukan lapisan film dari inhibitor fosfat, (viii) mangan dioksida, mangan teroksidasi tingkat tinggi, (ix) magnesium silika, silika dan magnesium pada konsentrasi tinggi dengan pH tinggi, (x) magnesium karbonat, magnesium dengan konsentrasi tinggi dan pH tinggi serta CO_2 tinggi.

2.2 Mekanisme Pembentukan Kerak

Menurut Antony *et al* tahun 2011, faktor utama berpengaruh terhadap pembentukan, pertumbuhan kristal serta pengendapan kerak antara lain adalah perubahan kondisi *reservoir* penurunan tekanan *reservoir* dan perubahan temperatur, percampuran dua jenis air yang mempunyai susunan mineral tidak sesuai, adanya supersaturasi, penguapan akibat dari perubahan konsentrasi, pengadukan (agitasi, pengaruh dari turbulensi), waktu kontak antara padatan dengan permukaan media pengendapan serta perubahan pH air.

Ada beberapa jenis kerak yang timbul dalam pipa. Menurut Antony *et al* tahun 2011 kerak digolongkan ke dalam tipe alkalin, non-alkalin, dan kerak silika. Kerak

tipe alkalin dibentuk oleh kalsium karbonat yang melepaskan ion bikarbonat ke dalam air kemudian diikuti oleh peningkatan temperatur, pH, dan kadar TDS (*Total Dissolved Solids*). Mekanisme pembentukan kerak berhubungan dengan berbagai aspek seperti; waktu, panas dan massa transfer, kinetik kimia, ilmu material dan lain-lain, sehingga sulit menerangkan mekanismenya. Kerak pada permukaan cairan hitam evap berlanjut sampai membentuk garam sodium atau membentuk kristal sendiri, mekanisme kristalisasi terus menerus terjadi melalui *nucleon* ataupun pertumbuhan kristal. Disamping itu, mekanisme kerak dapat juga terjadi melalui adesi kristal ke permukaan dan melalui kohesi atau penggumpalan yang disebabkan oleh daya tarik satu kristal dengan yang lainnya. Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti kadar air, kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, temperatur, lama pengaliran, dan pada jenis aliran laminair.

Mekanisme pembentukan endapan kerak berkaitan erat dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} dan CO_3^{2-}). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses kelarutan. Kelarutan didefinisikan sebagai batas suatu zat yang dapat dilarutkan dalam zat pelarut pada kondisi fisik tertentu. Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi merupakan fungsi dari tekanan, temperatur serta waktu kontak antara air dengan media pembentukan (Ratna, 2011). Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi merupakan fungsi dari tekanan, temperatur serta waktu kontak (*contact time*) antara air dengan media pembentukan. Air mempunyai batas kemampuan dalam menjaga senyawa ion-ion tersebut tetap dalam larutan, sehingga pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu, dimana harga kelarutan terlampaui, maka senyawa tersebut tidak akan terlarut lagi, melainkan terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padatan (Ratna, 2011). Perubahan kelarutan terjadi seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama proses produksi. Perubahan angka kelarutan pada

tiap zat terlarut dalam air formasi 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 (Ratna, 2011).

Berdasarkan penjelasan diatas, faktor yang mendukung pembentukan dan pengendapan kerak antara lain adalah sebagai berikut:

- Air mengandung ion-ion yang memiliki kecenderungan untuk membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai angka kelarutan rendah.
- Adanya perubahan kondisi fisik atau komposisi air yang akan menurunkan kelarutan lebih rendah dari konsentrasi yang ada.
- Kenaikan temperatur akan menyebabkan terjadinya proses penguapan, sehingga akan terjadi perubahan kelarutan.
- Air formasi yang mempunyai derajat keasaman (pH) besar akan mempercepat terbentuknya endapan kerak.
- Pengendapan kerak akan meningkat dengan lamanya waktu kontak dan ini akan mengarah pada pembentukan kerak yang lebih padat dan keras.

Proses pembentukan kristal CaSO_4 dapat dikategorikan dalam tiga tahapan pokok, yaitu:

2.2.1 Tahap Pembentukan Inti (Nukleasi)

Pada tahap ini ion-ion yang terkandung dalam suatu fluida akan mengalami reaksi kimia untuk membentuk inti kristal. Inti kristal yang terbentuk sangat halus sehingga tidak akan mengendap dalam proses aliran.

2.2.2 Tahap Pertumbuhan Inti

Pada tahap pertumbuhan inti kristal akan menarik molekul- molekul yang lain, sehingga inti akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar, dengan diameter $0,001 - 0,1 \mu$ (ukuran koloid), kemudian tumbuh lagi sampai diameter $0,1 - 10 \mu$ (kristal halus). Kristal akan mulai mengendap saat pertumbuhannya mencapai diameter $> 10 \mu$ (kristal kasar).

2.2.3 Tahap Pengendapan

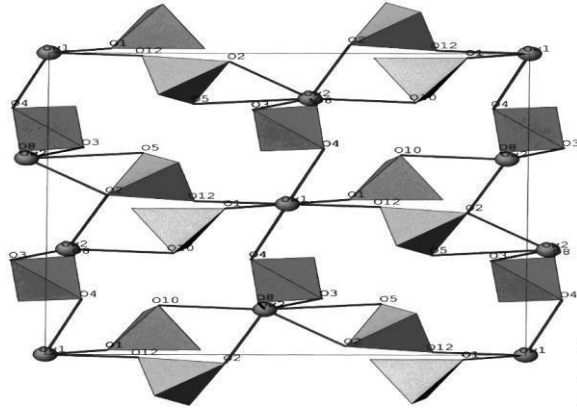
Kecepatan pertumbuhan kristal dipengaruhi oleh ukuran dan berat jenis kristal yang membesar pada tahap sebelumnya. Selain itu proses pembentukan juga dipengaruhi oleh aliran fluida pembawa, dimana kristal akan mengendap apabila kecepatan pengendapan lebih besar dari kecepatan aliran fluida (Siswoyo dan Erna, 2005). Sedangkan berdasarkan metode pembentukannya, pembentukan kristal dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu secara homogen (*homogeneous nucleation*) dan heterogen (*heterogeneous nucleation*).

2.3 Kalsium Sulfat (CaSO₄)

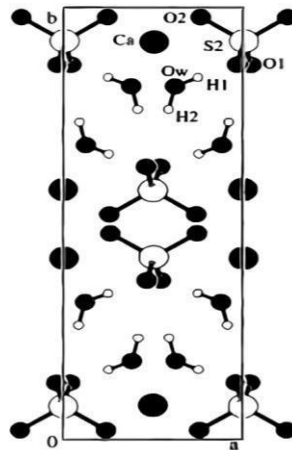
Kalsium sulfat (CaSO₄) merupakan garam yang terdapat di lingkungan alam dan digunakan sebagai produk sampingan dari beberapa proses industri dan termasuk senyawa kalsium, sulfur dan oksigen, serta dalam bentuk yang paling murni memiliki rumus kimia CaSO₄. Kalsium sulfat dikenal sebagai anhidrat-bebas air-kalsium sulfat, atau anhidrit mineral. Kalsium sulfat juga memiliki bentuk “*hydrous*”, yang dikenal sebagai mineral gipsum, yang memiliki rumus CaSO₄·2H₂O. Bentuk-bentuk yang berbeda tersebut memiliki berbagai manfaat dalam aplikasi yaitu sebagai bahan bangunan, bahan pelembab, membuat cetakan untuk perawatan kaki retak dan menciptakan karya seni.

Kalsium sulfat memiliki bentuk γ -anhidrat (bentuk hampir anhidrat) yang digunakan sebagai *desiccant* dan *coagulant* dalam produk seperti tahu, serta merupakan batu putih tembus dan juga kristal dalam keadaan alami. Ketika menjual sebagai varian menunjukkan warna di bawah nama *Drierite* yaitu warna biru atau pink karena impregnasi dengan cobalt (II) klorida, yang berfungsi sebagai indikator kelembaban. *Hemihydrate* (CaSO₄·0.5H₂O) lebih dikenal sebagai plester dari Paris, sementara *dihydrate* (CaSO₄·2H₂O) yang terjadi secara alami sebagai gipsum seperti pada Gambar 2 dan 3. Bentuk anhidrat terjadi secara alami sebagai β -*anhidrit*. Tergantung dari metode *calcination* kalsium sulfat

dihydrate, hemihydrates tertentu kadang-kadang dibedakan menjadi dua yaitu α -*hemihydrate* dan β -*hemihydrate*. Mereka tampak berbeda dalam ukuran kristal, dimana α -*hemihydrate* kristal lebih prismatik dibandingkan dengan β -*hemihydrate* kristal dan ketika dicampur dengan air akan membentuk jauh lebih kuat dan lebih sulit suprastruktur.



Gambar 2. *Hemihydrate* ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) (Boeyens dan Ichharam, 2002)



Gambar 3. *Dihydrate* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Boeyens dan Ichharam, 2002)

2.4 Kerak Kalsium Sulfat

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}) seperti pada Persamaan 1 sebagai berikut:



Endapan senyawa CaSO_4 dapat juga terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dengan ion bisulfat (HSO_4^-) seperti yang terlihat pada Persamaan 2.



Faktor ataupun kondisi yang mempengaruhi pembentukan kerak kalsium sulfat antara lain adalah perubahan kondisi *reservoir* (tekanan dan temperatur), alkalinitas air, serta kandungan garam terlarut. Kecenderungan terbentuknya kerak kalsium sulfat akan meningkat dengan:

- Meningkatnya temperatur
- Penurunan tekanan parsial CO_2
- Peningkatan pH
- Laju alir
- Penurunan kandungan gas terlarut secara keseluruhan

Selain hal-hal yang telah disebutkan diatas, turbulensi aliran dan lamanya waktu kontak (*contact time*) juga berpengaruh terhadap kecepatan pengendapan dan tingkat kekerasan kristal yang terbentuk (Antony *et al.*, 2011).

2.5 Faktor Pembentuk Kristal

Ukuran kristal yang terbentuk selama pengendapan, dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu laju pembentukkan inti (nukleasi) dan laju pertumbuhan kristal. Laju pembentukkan inti dapat dinyatakan dengan jumlah inti yang terbentuk dalam satuan waktu. Jika laju pembentukkan inti tinggi, maka banyak sekali kristal yang akan terbentuk yang terdiri dari partikel-partikel kecil. Laju pembentukkan inti bergantung pada derajat lewat jenuh dari suatu larutan. Semakin tinggi derajat lewat

jenuhnya maka akan semakin besar kemungkinan untuk terbentuknya inti baru sehingga laju pembentukan inti pun akan semakin meningkat. Laju pertumbuhan kristal juga merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi terbentuknya ukuran kristal selama pengendapan berlangsung. Semakin tinggi laju pertumbuhan maka kristal yang terbentuk akan semakin besar, dimana laju pertumbuhan kristal juga dipengaruhi oleh derajat lewat jenuh dari suatu larutan (Hartel, 2001).

2.5.1 Kristalisasi

Menurut Brown (1978) kristalisasi adalah suatu proses pembentukan kristal dari larutannya, dimana kristal yang dihasilkan dapat dipisahkan secara mekanik. Pertumbuhan kristal dapat terjadi bila konsentrasi suatu zat terlarut berada pada kadar larutan lewat jenuh pada suhu tertentu. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh melalui proses pendinginan dengan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan, dan dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya. 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. Proses pertumbuhan kristal pada borak merupakan salah satu contoh kasus laju pertumbuhan kristal yang dapat dengan mudah diamati (Suharso, 2004; Suharso *et al.*, 2008).

2.5.2 Kelarutan Endapan

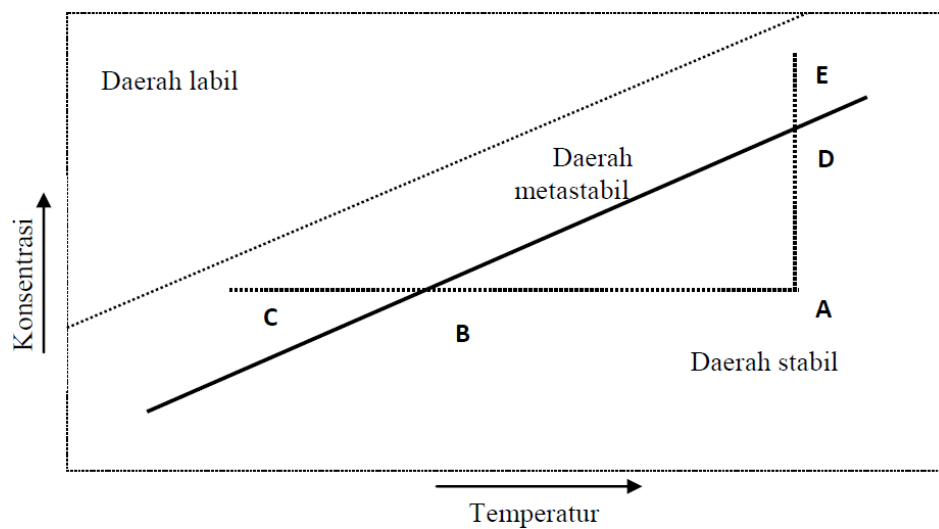
Endapan adalah zat yang memisahkan diri sebagai suatu fase padat dari larutan. Endapan mungkin berupa kristal atau koloid, dan dapat dikeluarkan dari larutan dengan filtrasi (penyaringan) atau sentrifugasi (pemusingan). Endapan terbentuk jika larutan menjadi terlalu jenuh dengan zat Bernankean. Kelarutan (S) suatu endapan, menurut definisi adalah sama dengan konsentrasi molar dari larutan jenuhnya. Kelarutan bergantung pada berbagai kondisi, seperti temperatur, tekanan,

konsentrasi, bahan-bahan lain dalam larutan itu dan pada komposisi pelarutnya. Kelarutan yang bergantung pada sifat dan konsentrasi suatu zat, terutama ion-ion dalam campuran tersebut. Terdapat 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. 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. Umumnya dapat dikatakan bahwa kelarutan suatu endapan dapat berkurang jika salah satu ion sekutu terdapat dalam sampel. (Lusiyannah, 2011).

Hasil kali kelarutan memungkinkan kita untuk menerangkan dan juga memperkirakan reaksi-reaksi pengendapan. Hasil kali kelarutan dalam keadaan sebenarnya merupakan nilai akhir yang dicapai oleh hasil kali ion ketika kesetimbangan tercapai antara fase padat dari garam yang hanya sedikit larut dalam larutan itu. Jika hasil kali ion berbeda dengan hasil kali kelarutan, maka sistem itu akan berusaha menyesuaikan, sehingga hasil kali ion mencapai nilai hasil kali kelarutan. Jadi, jika hasil kali ion dengan sengaja dibuat lebih besar dari hasil kali kelarutan, maka pengendapan garam larutan akan disesuaikan oleh sistem. Sebaliknya, jika hasil kali ion dibuat lebih kecil dari hasil kali kelarutan, maka kesetimbangan dalam sistem dicapai kembali dengan melarutnya sebagian garam padat ke dalam larutan. Hasil kali kelarutan menentukan keadaan kesetimbangan, namun tidak dapat memberikan informasi mengenai laju saat kesetimbangan terjadi. Adapun hubungan antara K_{sp} dengan kelarutan adalah semakin besar nilai K_{sp} nya maka akan besar juga kelarutannya (Suyanti, 2010).

2.5.3 Derajat Lewat-Jenuh (Supersaturasi)

Larutan lewat jenuh adalah larutan yang mengandung zat terlarut lebih besar daripada yang dibutuhkan pada sistem kesetimbangan larutan jenuh. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh melalui proses pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan serta dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya seperti yang terlihat Gambar 4.



Gambar 4. Diagram temperatur konsentrasi (Wafiroh, 1995)

Berdasarkan gambar tersebut, garis tebal menunjukkan kelarutan normal untuk zat terlarut dalam pelarut, sedangkan garis putus-putus menunjukkan kurva lewat jenuh, dimana posisinya dalam diagram bergantung pada zat-zat pengotor (Wafiroh, 1995). Kondisi kelarutan dibagi menjadi 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 Gambar 4 diagram temperatur konsentrasi tersebut, jika suatu larutan yang terletak pada titik A 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 saat larutan di titik A diuapkan pada temperatur konstan (Wafiroh, 1995).

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

- **Kualitas Air**
Pembentukan kerak dipengaruhi oleh konsentrasi komponen-komponen pembentuk kerak (kesadahan kalsium, konsentrasi fosfat, pH, dan konsentrasi bahan penghambat kerak dalam air).
- **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.
- **Laju Alir Air**
Laju pembentukan kerak akan meningkat dengan turunnya laju alir sistem. Pada 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.

2.6 Pembentukan Kerak

Pembentukan kerak dan deposit endapan lain adalah proses kristalisasi yang kompleks. Kecepatan pembentukan lapisan awal kerak dan kecepatan pertumbuhan yang berikutnya ditentukan melalui interaksi dari beberapa kecepatan proses: nukleasi, difusi, reaksi kimia, dan kesesuaian pola geometris molekul-molekul dan atom-atom kristal kerak, dan lain-lain. Sebagian besar unsur pokok pembentukan

kerak mineral, kelarutannya cenderung turun terhadap kenaikan suhu. Oleh karena itu, bila larutan lewat jenuh bersinggungan dengan permukaan transfer panas, mineral tersebut mengendap menjadi padatan karena daya larut setimbangannya menurun. Pada saat larutan menjadi lewat jenuh dan nukleasi terjadi, kondisi ini sangat cocok dan ideal untuk pertumbuhan kristal partikel kerak. Senyawa-senyawa yang dibawa air seperti kalsium karbonat dapat mengendap dan membentuk kerak sebagai akibat dari beda tekanan, perubahan temperatur, perubahan pH, dan lain-lain. Perubahan tersebut terjadi dalam peralatan proses, penukar panas, evaporator, *boiler*, dan *cooling tower* (Salimin dan Gunandjar, 2007).

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

2.6.1 Pembentukan Inti

Pada tahap ini terjadi pembentukan inti kristal yang merupakan partikel sangat halus sehingga tidak akan mengendap pada saat proses aliran. Inti dapat dibentuk dari beberapa molekul atau ion komponen endapan yang tumbuh secara bersama-sama dan jaraknya berdekatan, dapat juga dikatakan partikel halus secara kimia tidak berhubungan dengan endapan, tetapi ada kemiripan dengan struktur kisi kristal. Jika inti dibentuk dari ion atau komponen endapan, fase awal endapan disebut nukleasi homogen.

2.6.2 Pertumbuhan Inti

Kristal terbentuk dari lapisan ion komponen endapan pada permukaan inti karena pada pengolahan air yang melibatkan proses pengendapan sering tidak mencapai kesetimbangan. Pada tahap pembentukan inti sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dari larutan, suhu, energi yang dipakai untuk berada pada tahap ini (misalnya agitasi) dan tambahan eksternal (memakai molekul kristal kembali *seeding agent*). Inti akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar dengan diameter 0,001 – 0,1 μ (ukuran koloid), kemudian tumbuh lagi sampai diameter 0,1 – 10 μ (kristal halus). Kristal akan mulai mengendap saat pertumbuhannya mencapai diameter lebih dari 10 μ (kristal kasar).

2.6.3 Pengendapan

Padatan yang awalnya terbentuk dengan pengendapan, kemungkinan bukan padatan yang paling stabil (secara termodinamika) untuk berbagai kondisi reaksi. Jika demikian selama jangka waktu tertentu struktur kristal endapan dapat berubah menjadi fasa stabil. Perubahan ini disertai penambahan endapan dan pengurangan konsentrasi larutan, sebab fasa yang stabil biasanya mempunyai kelarutan yang lebih kecil dari fasa yang dibentuk sebelumnya. Pematangan juga terjadi pada ukuran kristal endapan yang bertambah sebab partikel yang lebih kecil memiliki energi permukaan yang besar dari pada partikel yang besar, konsentrasi larutan dalam kesetimbangan untuk partikel yang lebih tinggi sebanding untuk partikel yang lebih besar. Akibatnya, pada ukuran partikel yang beragam partikel yang lebih besar terus bertambah, sebab larutan masih dalam keadaan lewat jenuh. Partikel yang lebih kecil melarut, sebab konsentrasi larutan sekarang belum diketahui harga jenuhnya (Lestari *et al.*, 2004).

2.7 Metode Pencegahan Terbentuknya Kerak

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

2.7.1 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 *et al.*, 2004). Asam sulfat yang biasa digunakan pada metode ini akan bereaksi dengan ion karbonat yang ada di air menghasilkan H_2O dan CO_2 sehingga pembentukan kerak $CaSO_4$ dapat dicegah (Al-Deffeeri, 2006). Kelarutan bahan pembentuk kerak biasanya meningkat pada pH yang lebih rendah. Namun pada pH 6,5 atau kurang, korosi pada baja, karbon, tembaga, dan paduan tembaga dengan cepat akan berlangsung sehingga pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak hanyalah pada pH 7 sampai 7,5. Oleh karena itu, suatu sistem otomatis penginjeksian asam diperlukan untuk mengendalikan pH

secara tepat. Selain itu, asam sulfat dan asam klorida mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya. Saat ini, penghambatan kerak dengan hanya penginjeksian asam semakin jarang digunakan (Lestari *et al.*, 2004).

2.7.2 Pelunakan dan Pembebasan Mineral Air

Untuk mencegah terjadinya kerak pada air yang mengandung kesadahan tinggi (± 250 ppm) perlu adanya pelunakan dengan kapur dan soda abu. 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 (Lestari *et al.*, 2004). Namun, penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang cukup tinggi sehingga dapat menurunkan efisiensi kerja (Halimatuddahlia, 2003).

2.7.3 Penggunaan Inhibitor Kerak

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

Syarat yang harus dimiliki senyawa kimia sebagai inhibitor kerak adalah sebagai berikut:

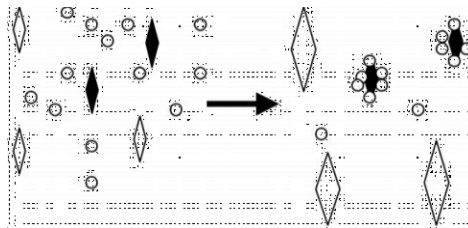
1. Inhibitor kerak harus menunjukkan kestabilan termal yang cukup dan efektif untuk mencegah terbentuknya air sadah dari pembentukan kerak.
2. Inhibitor kerak harus dapat merusak struktur kristal dan padatan tersuspensi lain yang mungkin akan terbentuk.

3. Inhibitor kerak juga harus memiliki tingkat keamanan yang tinggi dalam penggunaannya sehingga tidak menimbulkan efek samping yang berbahaya bagi lingkungan sekitar (Al-Deffeeri, 2006).

Mekanisme kerja inhibitor kerak terbagi menjadi dua, yaitu:

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

Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal dapat diilustrasikan dalam Gambar 5. Kerja Inhibitor dalam mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal dari bibit kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam) yang mengakibatkan pertumbuhan kristal menjadi terhambat. Sedangkan pada bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal yang tidak diberi warna) mengalami pertumbuhan normal (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014).



Gambar 5. Mekanisme inhibitor dalam menghambat laju pertumbuhan kristal (Suharso *et al.*, 2009)

Pada Gambar 5 memberikan gambaran mengenai bagaimana kerja inhibitor dalam mengadsorpsi pada sisi-sisi pertumbuhan kristal dari bibit kristal (ditunjukkan pada kristal yang diberi warna hitam) yang mengakibatkan pertumbuhan kristal menjadi terhambat. Sedangkan pada bibit kristal yang tidak teradsorpsi oleh inhibitor (ditunjukkan pada kristal yang tidak diberi warna) mengalami pertumbuhan normal (Suharso *et al.*, 2009; Suharso *et al.*, 2014). Kemampuan penghambatan tergantung

pada jumlah tempat adsorpsi, kerapatan muatan, ukuran molekul, berat molekul, dan modus interaksi dengan permukaan logam untuk membentuk kompleks permukaan logam yang stabil (Wang *et al.*, 2001). Senyawa kimia ramah lingkungan sebagai inhibitor akan membentuk selaput adsorpsi pada permukaan logam dan mencegah timbulnya kerak pada permukaan logam. Adsorpsi bersifat subjektif terhadap kepadatan muatan permukaan logam dan juga muatan molekul inhibitor (Ma *et al.*, 2001).

2.8 Mekanisme Inhibitor Kerak

Metode penghambatan kerak yang paling umum dan efektif adalah dengan menggunakan inhibitor kerak. Penghambatan kerak berasal dari proses fisik yang lebih kompleks, seperti adsorpsi, nukleasi dan proses pertumbuhan kristal, daripada dengan reaksi kimia. Berikut ini adalah mekanisme pelarutan dan penghambatan kerak oleh inhibitor:

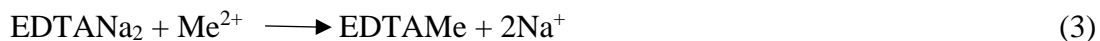
2.8.1 Penghambat Ambang Batas

Penghambatan ambang batas didefinisikan sebagai kemampuan dari senyawa kimia pada tingkat sub stoikiometri untuk mempertahankan kelarutan ion mineral melebihi batas normalnya (Davis *et al.*, 1995; Stamatakis *et al.*, 2006). Istilah inhibisi (penghambatan) ambang batas menggambarkan mekanisme inhibitor kerak pada level sub mikroskopik kristal. Efek ambang batas ini dijelaskan dengan adsorpsi inhibitor ke dalam kristal yang tumbuh dan mengubah morfologi kristal tersebut. Proses ini dapat mencegah pertumbuhan kristal atau setidaknya menunda untuk waktu yang lama. Fungsi sebenarnya dari mekanisme ini adalah untuk "melarutkan" kristal yang tumbuh tepat setelah nukleasi, dan mencegah kelanjutan dari mekanisme pergerakan. Sebuah inhibitor ambang batas pada dasarnya mengganggu atau menghilangkan mekanisme pertumbuhan kristal secara cepat dengan menyerap pada situs pertumbuhan kristal (Severtson *et al.*, 1999).

Adsorpsi mempengaruhi struktur kristal dan mendorong kristal secara termodinamis menuju pelarutan kembali daripada menuju pertumbuhan kristal secara spontan. Mekanisme ini umumnya berlaku untuk molekul yang berukuran kecil. Kebanyakan inhibitor adalah senyawa yang mengandung fosfor seperti polifosfat anorganik, ester fosfat organik, dan fosfat amino organik. Selain itu, beberapa amino polikarboksilat, fosfonopolikarboksilat, dan sulfonat juga dikenal sebagai inhibitor. Kehadiran gugus seperti -COOH, -OH, dan -NH₂ meningkatkan laju pelarutan dan efisiensinya (Demadis *et al.*, 2009).

2.8.2 Khelat

Ada dua atau lebih ikatan koordinasi dalam molekul agen pengkhelat atau agen pengompleks. Ikatan koordinasi sangat mudah membentuk senyawa kompleks dengan ion positif pada formulasi kristal dalam air. Air kehilangan ion positif dan pertumbuhan kerak menurun secara bersamaan. Mekanisme penghambatan dari EDTA dapat dilihat pada Persamaan 3 sebagai berikut:



Unsur Me²⁺ mewakili ion positif Ca²⁺, Mg²⁺, Ba²⁺, dan lain-lain. Rumus reaksi menunjukkan bahwa reaksi kimia antara agen pengkhelat dan ion positif kerak mengikuti “hukum komposisi konstan”, yang berarti satu molekul EDTANa₂ hanya dapat bereaksi dengan satu ion positif kristal. Oleh karena itu, kuantitas jenis inhibitor ini bergantung pada konsentrasi ion positif kristal dalam air, dosis inhibitor sering dalam jumlah yang sangat besar (Wang *et al.*, 2001).

Adsorpsi bersifat subjektif terhadap kepadatan muatan permukaan logam dan juga muatan molekul inhibitor. Mekanisme penghambatan kerak dapat dipengaruhi oleh jumlah tempat adsorpsi, kerapatan muatan, ukuran molekul, berat molekul dan modus interaksi dengan permukaan logam untuk membentuk kompleks permukaan logam yang stabil. Mekanisme pencegahan dan peleburan kerak oleh polimer hijau menunjukkan bahwa senyawa kimia atau polimer ramah lingkungan sebagai

inhibitor membentuk selaput adsorpsi pada permukaan logam sehingga dapat mencegah timbulnya kerak pada permukaan logam (Ma *et al.*, 2001).

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

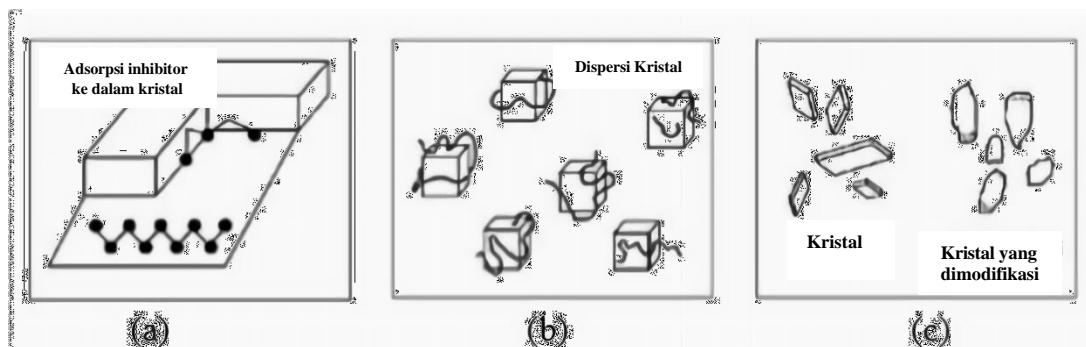
2.8.3 Distorsi Kristal

Mekanisme distorsi kristal adalah inhibitor dapat mengubah kristal kecil yang tumbuh dan membuat sel satuan dalam bentuk aksial yang berbeda. Akibatnya, pertumbuhan normal kristal terganggu, dan kerak tidak dapat terbentuk. Distorsi struktur kristal bisa meningkatkan stres internal kristal, yang menghasilkan pematangan kristal dan mencegah pengendapan mikrokristal (Yang *et al.*, 2001). Bahan kimia mempengaruhi susunan dan reaksi pertumbuhan kristal sehingga menyebabkan tidak biasa, bentuk yang tidak kristalin. Distorsi kristal juga menunda pertumbuhan kristal dari kristal yang biasanya sangat teratur. Molekul inhibitor menyerap ke situs pertumbuhan kristal yang aktif, menghasilkan penghalangan, dan pencegahan pertumbuhan lebih lanjut (Davis *et al.*, 1995).

Kasus-kasus polimer, seperti *polyacrylates* dengan berat molekul rendah dan banyak polimer lainnya, polimer dapat mendistorsi struktur kisi kristal mineral pembentuk kerak dengan dosis yang rendah, meskipun pada tingkat yang jauh lebih rendah dari fosfonat. Hasilnya kristal lunak dan tidak menempel pada permukaan transfer panas. Poli (asam akrilat) dan poli (asam maleat) termasuk ke dalam produk yang paling umum digunakan pada mekanisme distorsi kristal (Severtson *et al.*, 1999).

2.8.4 Dispersi Kristal

Dispersi kristal adalah mekanisme aglomerasi dan pertumbuhan mikrokristal yang dicegah dengan peningkatan anionik pada permukaan. Peningkatan kekuatan ikatan elektrostatik antar mikrokristal mencegah pertumbuhan kisi kristal yang teratur. Modifikasi kristal terjadi ketika *antisclatant* terserap kemudian mengubah morfologi mikrokristal yang tumbuh, sehingga kristal berbentuk tidak teratur. Adanya kristal-kristal yang tidak teratur tersebut membuat lapisan kerak tidak dapat terbentuk pada permukaan sistem. Kristal yang kurang teratur lebih mudah terdispersi (menyebarkan) seperti yang terlihat pada Gambar 6. Kelompok fungsional yang berasal dari monomer seperti asam akrilik, asam metakrilat, asam maleat, asam poliakrilat, asam *polymethacrylic* dan sebagian poliakrilamida terhidrolisis adalah polimer yang paling umum digunakan untuk penyebaran kristal.



Gambar 6. Mekanisme penghambatan inhibitor (Severtson et al., 1999)

Dispersi juga didefinisikan sebagai campuran stabil yang seragam dari bahan yang tidak larut dalam cairan. Hal ini terjadi ketika inhibitor secara kimia teradsorpsi ke permukaan kristal dan memberi tambahan muatan mengisi permukaan. Muatan permukaan yang dihasilkan menyebabkan tolakan elektrostatik antara partikel yang bermuatan sama untuk menghindari aglomerasi, yang mengurangi pertumbuhan partikel dan akhirnya menyebabkan dispersi. Modifikasi permukaan mikrokristal oleh pendispersi mencegah kristal baru bergabung bersama untuk membentuk kumpulan material kerak yang besar dan juga menghambat penghubungan partikel. Adsorpsi inhibitor juga memberi hidrofilitas pada kristal, yang membuat kristal

tidak dapat menempel pada permukaan panas. Dispersi mempengaruhi interaksi partikel ke partikel (homogen) dan partikel ke permukaan (heterogen). Inhibitor tipe dispersi berinteraksi dengan permukaan kristal dan dengan memodifikasi permukaan menjauhkan kristal dari pembentukan kerak pada permukaan panas (Chauhan *et al.*, 2015).

2.9 Nanas

Buah-buahan merupakan komoditi hortikultura yang banyak dibudidayakan oleh petani serta dapat untuk meningkatkan perekonomian masyarakat. Salah satu tanaman buah yang dibudidayakan petani di Indonesia ialah nanas. Nanas dalam bahasa latin *Ananas comosus* berasal dari Brazilia dan Paraguay. Buah nanas dapat dikonsumsi dalam keadaan segar, buah dalam kaleng atau jus, dan biasa dihidangkan sebagai pencuci mulut. Rasa asam pada buah nanas disebabkan karena kandungan asam malat atau asam sitrat. Daging buah nanas yang masih muda bersifat toksik yang bisa digunakan untuk aborsi dan terdapat racun yang berakibat muntah bila dikonsumsi (Agoes, 2010).

Asam sitrat dalam bidang farmasi digunakan untuk pelarut dan pembangkit aroma sedangkan dalam industri kosmetik digunakan sebagai antioksidan. Asam sitrat juga biasa digunakan untuk menambah rasa asam, untuk mengurangi rasa manis, memperbaiki sifat koloidal dari makanan yang mengandung pektin, membantu ekstraksi pektin dan pigmen dari buah-buahan dan sayuran. Fungsi asam sitrat dalam tubuh adalah sebagai pengendali pH tubuh.

2.10 Ekstrak Kulit Nanas

Ekstrak adalah sediaan pekat yang diperoleh dengan mengekstraksi zat aktif dari simplisia nabati atau simplisia hewani menggunakan pelarut yang sesuai, kemudian semua atau hampir semua pelarut diuapkan dan massa atau serbuk yang tersisa diperlakukan sedemikian hingga memenuhi baku yang telah ditetapkan. Ekstrak kulit nanas mengandung senyawa flavonoid, tanin dan saponin serta mengandung

senyawa yang berpotensi sebagai inhibitor kerak kalsium sulfat (CaSO_4) karena dapat membentuk senyawa kompleks (kelat) antara inhibitor dengan unsur-unsur penyusun kerak. Senyawa kompleks yang terbentuk larut dalam air sehingga menutup kemungkinan pertumbuhan kristal yang besar dan mencegah kristal kerak untuk melekat pada permukaan pipa.

2.11 Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2*

Asap cair *grade 2* merupakan asap cair yang telah melewati tahapan destilasi dengan menggunakan suhu 250 – 300 °C, kemudian dilakukan penyaringan zeolit. Asap cair ini memiliki warna kuning kecoklatan dan diorientasikan untuk pengawetan bahan makanan mentah (Rizal *et al.*, 2020). Asap cair tempurung kelapa *grade 2* ini hanya terdiri dari asap cair dengan bahan baku tempurung kelapa pada suhu pembakaran 300 °C dan 500 °C (Luditama, 2006). Menurut Rizal *et al* (2020) asap cair tempurung kelapa *grade 2* memiliki warna coklat lebih bening dibandingkan dengan *grade 3* (Gambar 7). Asap cair tempurung kelapa *grade 2* memiliki kandungan asam asetat sebesar 51,6 %.



Gambar 7. Warna asap cair tempurung kelapa (Yulistiani, 2008)

Asap cair tempurung kelapa memiliki 7 macam komponen dominan, yaitu fenol, 3-metil-1,2-siklopentadion, 2 metoksifenol, 2-metoksi-4-metilfenol, 4-etil-2 metoksifenol, 2,6-dimetoksifenol, dan 2,5-dimetoksi benzil alkohol yang semuanya larut dalam eter (Tranggono *et al.*, 1996). Sedangkan, menurut Guillen dan Manzanos (1995) asap cair komersial memiliki empat macam komponen dominan yaitu 3-methyl-1,2-siklopentanadion, 3 hidroksi-2 metil-4H-pyran-4-on,

dan 2,6-dimetoksifenol. Menurut Gumanti (2006) komponen kimia destilat asap tempurung kelapa mengandung total fenol (5,5 %), metil alkohol (0,37 %), dan total asam (7,1 %).

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Suharso dan Buhani (2012), inhibitor asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan konsentrasi lebih dari 50 ppm mampu menghambat laju pertumbuhan kerak CaSO_4 , dimana semakin rendah konsentrasi kerak CaSO_4 yang digunakan, maka semakin mudah larutan inhibitor untuk mencegah pertumbuhan kerak.

Menurut Himawati (2010) asap cair *grade 2*, memiliki kandungan tar 16,6 % jauh lebih rendah, kandungan fenol 9,55 %, karbonil 1,67 %, dan aroma asapnya sudah berkurang. Asap cair *grade 2* tidak terlalu berbeda dengan *grade 3* untuk kadar fenol, karbonil, dan asamnya. Namun, pada asap cair *grade 2* untuk kadar tar dan poliaromatik hidrokarbon (PAH) seperti benzopirena sudah semakin berkurang, hal ini dikarenakan pada saat destilasi dengan suhu 250 °C senyawa tersebut tidak ikut menguap karena titik didih kedua senyawa tersebut berada diatas 250 °C.

Analisis komponen spesifik asap cair dilakukan menggunakan GC-MS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komponen kimia asap cair tempurung kelapa *grade 2* hasil GC-MS (Jayanudin dan Suhendi, 2012)

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

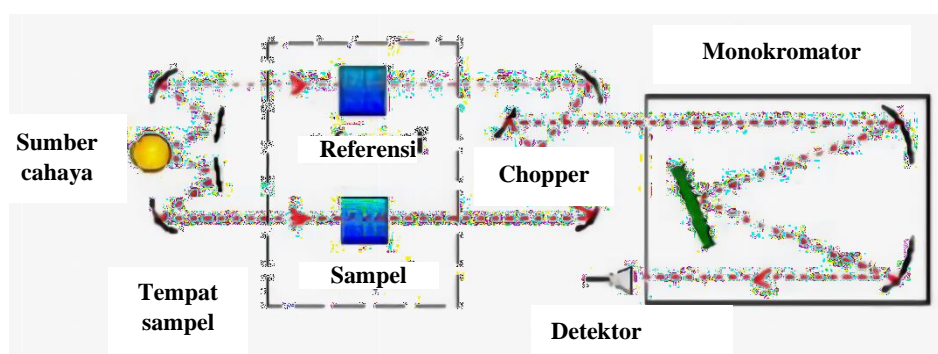
2.12 Unseeded Experiment

Unseeded experiment merupakan salah satu metode pembentukan kristal dengan cara tanpa menambahkan bibit kristal ke dalam larutan pertumbuhan. Hal ini dilakukan untuk melihat laju pertumbuhan dari kerak CaSO_4 . Metode ini biasanya digunakan untuk pemeliharaan alat-alat industri yang masih baru sehingga dibutuhkan pencegahan pertumbuhan kerak CaSO_4 (Aisah, 2016).

2.13 Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

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

Spektrum IR suatu molekul adalah hasil transisi antara tingkat energi vibrasi dan osilasi. Bila molekul menyerap radiasi IR, energi yang diserap akan menyebabkan kenaikan amplitude getaran atom-atom yang terikat sehingga molekul-molekul tersebut berada pada keadaan vibrasi tereksitasi (*excited vibrational state*); energi yang diserap ini akan dibuang dalam bentuk panas bila molekul itu kembali ke keadaan dasar. Sehingga, spektrofotometer IR (Gambar 12) dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi dalam suatu molekul (Supratman, 2010).



Gambar 8. Skema kerja *Spectrophotometer InfraRed* (Supratman, 2010)

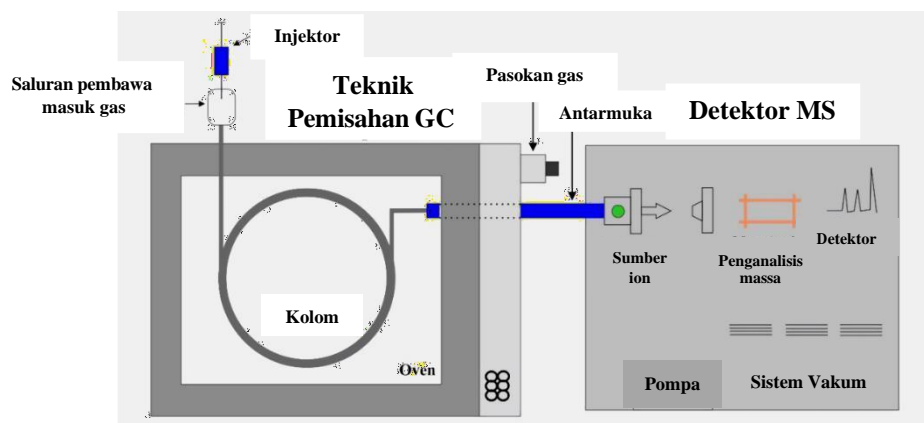
2.14 *Gas Chromatography – Mass Spectrometry* (GC-MS)

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, 1975). *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. Identifikasi senyawa sebagai penentu bobot molekul dan penentuan rumus molekul merupakan fungsi dari MS, sedangkan GC hanya berfungsi sebagai sarana

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

GC-MS merupakan gabungan dari dua instrument analisis, yaitu kromatografi gas dan spektrofotometri massa sehingga menjadi sebuah instrument yang sangat efektif untuk analisis (Baugh, 1993). Spektrofotometer massa merupakan detektor universal sehingga GC-MS dapat digunakan untuk menganalisis berbagai jenis senyawa dan menjadikan perangkat analisis ini menjadi salah satu instrument dengan penggunaan yang sangat luas. Alat ini dilengkapi dengan sistem kepustakaan senyawa kimia, sehingga identifikasi senyawa kimia dapat dilakukan dengan cepat tanpa bantuan instrumen lainnya, seperti spektrofotometri inframerah dan spektrofotometri magnet inti (Torres, 2005). Skema GC-MS seperti terlihat pada Gambar 9.



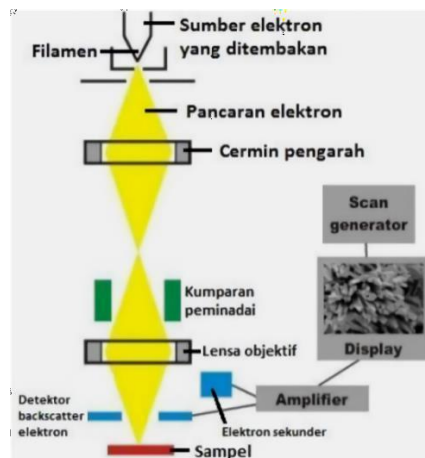
Gambar 9. Skema alat GC-MS (Torres, 2005)

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. Fragmen-fragmen ion yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor dan dihasilkan spektrum massa (Pavia, 2006).

2.15 Scanning Electron Microscopy (SEM)

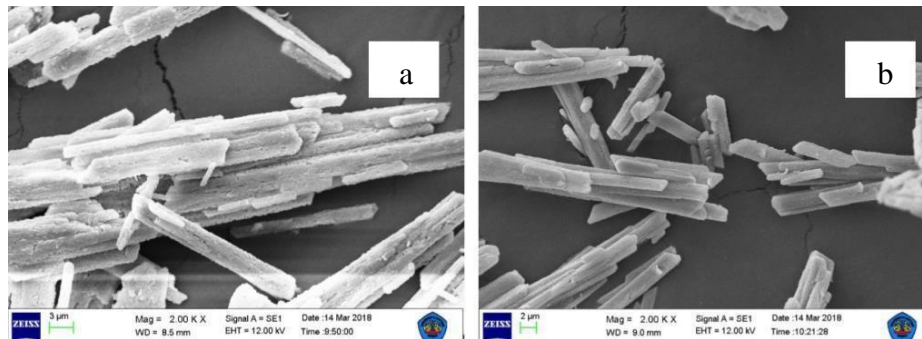
Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati dan menganalisis karakteristik struktur mikro dari bahan padat yang konduktif maupun yang tidak konduktif. Sistem pencahayaan pada SEM menggunakan radiasi elektron yang mempunyai $\lambda = 200-0,1 \text{ \AA}$, 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, 2006). 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 morfologi kerak CaSO_4 pada konsentrasi 0,050 M (a) tanpa penambahan inhibitor dan (b) dengan penambahan inhibitor 350 ppm pada besaran 2000 kali (Pertiwi, 2018)

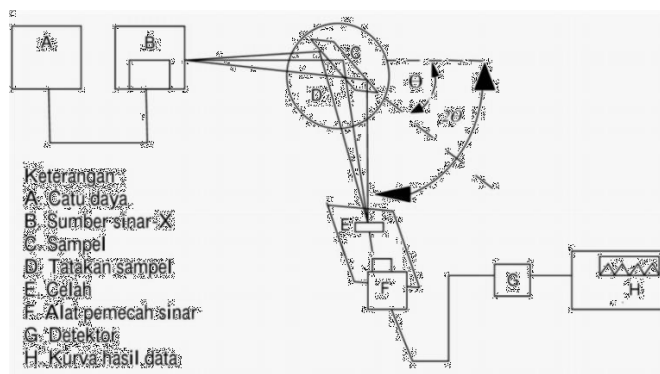
Pada Gambar 11 dapat dilihat perubahan morfologi permukaan kerak CaSO_4 tanpa penambahan inhibitor yang terlihat lebih padat, jelas, serta bentuk kristal yang lebih teratur, bertumpuk dan besar yang ditunjukkan pada Gambar 11 (a). Berbeda dengan hasil analisis SEM pada Gambar 11 (b) dengan penambahan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

2.16 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal dan orientasi kristal. Analisis menggunakan alat difraktometer sinar-X didasarkan pada pola difraksi dari paduan atau senyawa yang dihasilkan oleh proses difraksi. Ukuran panjang gelombang sinar-X harus tidak berbeda jauh dengan jarak antar atom di dalam kristal, sehingga pola berulang dari kisi kristal akan berfungsi seolah-olah seperti kisi difraksi untuk panjang gelombang sinar-X. Suatu kristal

mineral dapat ditentukan strukturnya dengan cara membandingkan pola difraksi yang dihasilkan dengan pola difraksi mineral acuan atau baku (Callister, 2009).

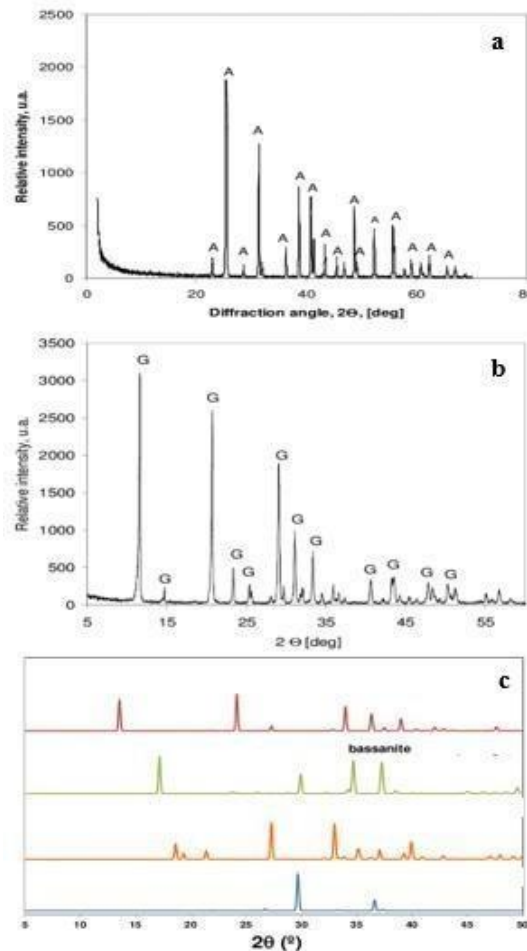
Prinsip dasar XRD adalah mendifraksi cahaya yang melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi-kisi atau kristal ini dapat terjadi apabila difraksi tersebut berasal dari radius yang memiliki panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Angstrom. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X merupakan foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang berkisar antara 0,5 sampai 2,5 Å. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan suatu material, maka sebagian berkas akan diabsorpsi, ditransmisikan, dan sebagian lagi dihamburkan terdifraksi. Hamburan terdifraksi inilah yang dideteksi oleh XRD. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Skema alat difraksi sinar X ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema alat difraksi sinar-X (Callister, 2009)

Hasil analisis menggunakan XRD memiliki peak (puncak) yang berbeda-beda. Hal tersebut dapat dilihat pada difaktogram yang terbentuk dari analisis XRD pada penelitian ini yang digunakan untuk mengetahui bagaimana fase kristalin yang terbentuk pada kerak CaSO_4 . Pada Gambar 13 dapat terlihat contoh pola XRD pada kerak CaSO_4 yang terdiri dari fase gipsum, anhidrit, dan basanit. Fase baru yang

terdapat pada kerak CaSO_4 terbentuk karena adanya perubahan fase setelah ditamapkannya inhibitor ke dalam kerak CaSO_4 . Fase-fase yang dapat terbentuk pada kerak kalsium sulfat dapat dilihat pada Gambar 13 sebagai berikut.



Gambar 13. Difaktogram data standar CaSO_4 fase (a) anhidrit (b) gipsum (c) basanit (Violeta dan Dalia, 2014)

2.17 Particle Size Analyzer (PSA)

Analisis ukuran partikel adalah sebuah sifat fundamental dari endapan suatu partikel yang dapat memberikan informasi tentang asal dan sejarah partikel tersebut. Distribusi ukuran juga merupakan hal penting seperti untuk menilai perilaku granular yang digunakan oleh suatu senyawa atau gaya gravitasi. Diantara senyawa-

senyawa dalam tubuh hanya ada satu partikel yang berkarakteristik dimensi linear. Partikel irregular memiliki banyak sifat dari beberapa karakteristik dimensi linear (James *and* Syvitski, 1991).

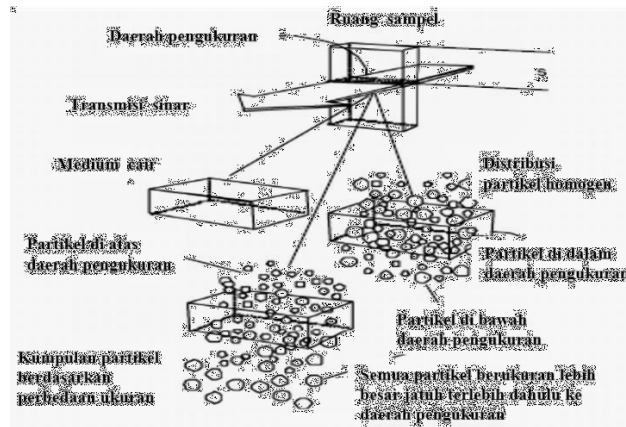
Perhitungan partikel secara modern umumnya menggunakan alinasis gambar atau beberapa jenis penghitung partikel. Gambar didapatkan secara tradisional dengan mikroskop elektron atau untuk partikel yang lebih kecil menggunakan SEM (James *and* Syvitski, 1991). Penyinaran sinar laser pada analisis ukuran partikel dalam keadaan tersebar. Pengukuran distribusi intensitas difraksi cahaya spasial dan penyebaran cahaya dari partikel. Distribusi ukuran partikel dihitung dari hasil pengukuran. Difraksi sinar laser analisis ukuran partikel meliputi perangkat laser untuk menghasilkan sinar laser ultraviolet sebagai sumber cahaya dan melekatkan atau melepaskan *flourescent* untuk mengetahui permukaan *photodiode array* yang menghitung distribusi intensitas cahaya spasial dan penyebaran cahaya selama terjadinya pengukuran (Totoki *et al.*, 2007). *Particle size analyzer* (PSA) mampu mengukur partikel distribusi ukuran emulsi, suspensi dan bubuk kering (Totoki *et al.*, 2007).

Keunggulan dari PSA antara lain:

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

Sampel berupa padatan lebih banyak mengabsorpsi sinar-X daripada cairan, oleh karena itu transmisi sinar-X dikurangi. Sejak pencampuran suspensi yang homogen, intensitas diasumsikan sebagai nilai konstan, I_{min} untuk transmisi sinar X dalam skala pengurangan yang penuh. Aliran pencampuran dihentikan dan penyebaran yang homogen dimulai untuk menyelesaikan pentransmision intensitas sinar-X yang dimonitor pada depth-s. Selama proses sedimentasi, partikel yang besar menempati tempat pertama di bawah zona pengukuran dan pada akhirnya, semua partikel

menempati level ini dan yang tertinggal hanya cairan yang bersih. Semakin banyak partikel besar yang menempati di bawah zona pengukuran dan tidak digantikan dengan ukuran partikel yang sama yang menempati dari atas, maka pelemahan sinar-X berkurang. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf dapat ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram proses fraksinasi massa dalam sedigraf (Webb, 2006)

Adanya perubahan pada morfologi kristal disebabkan oleh unit-unit pertumbuhan kerak yang dihalangi oleh inhibitor akan menyebabkan laju pertumbuhan kerak CaSO_4 menjadi melambat. Sehingga, menyebabkan pertumbuhan kristal akan berakibat terhadap perubahan morfologi kristal (Suharso dan Buhani, 2011).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan pada bulan Maret 2022 – Juni 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi sampel menggunakan *Fouier Transform Infrared Spectrometer* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di Laboratorium Unit Pelaksana Teknik Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung, analisis menggunakan GC-MS dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Universitas Gadjah Mada, analisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dilakukan di Laboratorium Sentra Universitas Padjajaran dan analisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Sepuluh November.

3.2 Alat dan Bahan

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah alat-alat gelas, *water bath* (Thermoscientific AC 200/S21), gelas-gelas plastik, pengaduk magnet, *spinbar*, oven, neraca analitik (Airshwoth AA-160), pH meter, termometer, *rotary evaporator*, *Fouier Transform Infrared Spectrometer* (FTIR) merek Cary 630 Agilent, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merek Zeiss evo MA10, *X-Ray Diffraction* (XRD) merek Philip Analytical, *Particle Size Analyzer* (PSA) merek Coulter LS 13320, dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merek Shimadzu GC2010 MSQP 2010S.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CaCl_2 anhidrat dari *Chemical Products*, Na_2SO_4 , akuades, kulit buah nanas, asap cair tempurung kelapa *grade 2* (Lampung Tengah) dan kertas saring.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Ekstrak Kulit Buah Nanas

Ekstrak kulit buah nanas dapat dibuat dengan cara kulit buah nanas yang masih basah dipotong kecil-kecil kemudian dikeringkan selama empat hari dengan bantuan sinar matahari. Selanjutnya, kulit nanas yang sudah kering dioven selama dua jam dengan suhu 105 °C untuk memperoleh kulit nanas yang benar-benar kering. Kemudian, kulit nanas yang telah kering tersebut digiling untuk menghasilkan serbuk kulit nanas. Kulit nanas yang telah menjadi serbuk tersebut ditimbang sebanyak 100 gr dan di campurkan dengan 1000 mL akuades ke dalam gelas kimia 1000 mL. Campuran larutan serbuk kulit nanas tersebut dipanaskan menggunakan *hotplate stirrer* dengan suhu 90 °C selama 2-3 jam. Kemudian, campuran tersebut didiamkan selama semalaman dan di saring untuk mendapatkan filtratnya. Filtrat yang didapat diuapkan menggunakan evaporator dengan suhu 70 °C hingga pekat untuk mendapatkan larutan induk ekstrak kulit nanas.

3.3.2 Pembuatan Variasi Konsentrasi Inhibitor dari Asap Cair Tempurung Kelapa

Pembuatan larutan inhibitor dari asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan konsentrasi 50 ppm dilakukan dengan cara mengencerkan 50 mL asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL hingga tanda tera, lalu dihomogenkan. Perlakuan yang sama dilakukan untuk pembuatan larutan inhibitor dari asap cair tempurung kelapa *grade 2* dengan konsentrasi 150, 250, dan 350 ppm. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada asap cair tempurung kelapa *grade 2* dilakukan karakterisasi menggunakan *Fouier Transform Infrared Spectrometer* (FTIR). Selain itu untuk mengetahui komponen senyawa kimianya, asap cair tempurung kelapa *grade 2* dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) (Suharso, 2010).

3.3.3 Pembuatan Inhibitor Campuran Ekstrak Kulit Buah Nanas dan Asap Cair Tempurung Kelapa *Grade 2*

Larutan inhibitor dibuat dengan cara mencampurkan 200 mL ekstrak kulit buah nanas dengan 200 mL asap cair tempurung kelapa *grade 2* dalam perbandingan konsentrasi yang bervariasi. Perpaduan ekstrak kulit buah nanas dan asap cair *grade 2* diuji efektivitasnya dengan memvariasikan konsentrasi campuran ekstrak kulit buah nanas dengan asap cair *grade 2* dimana konsentrasi ekstrak kulit buah nanas dibuat tetap. Perbandingan konsentrasi campuran asap cair tempurung kelapa *grade 2* dapat dilihat pada Tabel 2. Larutan campuran ekstrak kulit buah nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* diaduk menggunakan pengaduk *magnetic stirrer* selama 10 menit dan disaring menggunakan kertas saring yang kemudian disimpan ke dalam botol gelap. Masing-masing campuran diuji efektivitasnya dalam menghambat pembentukan kerak CaSO_4 .

Tabel 2. Perbandingan konsentrasi campuran ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*

Perbandingan Inhibitor N: A	Konsentrasi Ekstrak Kulit Nanas (ppm)	Konsentrasi Asap Cair Tempurung Kelapa <i>Grade 2</i> (ppm)
5:1	250	50
5:3	250	150
5:5	250	250
5:7	250	350

Keterangan: N = Ekstrak kulit nanas; A = Asap cair tempurung kelapa *grade 2*

Uji efektivitas inhibitor campuran dilakukan pada larutan pertumbuhan yang dibuat dari larutan 0,100 M CaCl_2 dan larutan 0,100 M Na_2SO_4 . Setelah didapatkan efektivitasnya, perbandingan konsentrasi campuran yang memiliki efektivitas terbesar digunakan sebagai inhibitor kerak CaSO_4 pada penelitian ini. Untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada inhibitor campuran ini dilakukan karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR. Selain itu inhibitor campuran tersebut dianalisis menggunakan GC-MS untuk mengetahui komponen senyawa kimianya (Suharso *et al.*, 2010).

3.3.4 Pengujian Inhibitor dalam Menghambat Pertumbuhan Kristal CaSO_4

Pengujian ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2* sebagai inhibitor dalam pengendapan kristal CaSO_4 dengan metode *unseeded experiment* dilakukan dengan beberapa tahapan percobaan yaitu sebagai berikut:

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

Larutan pertumbuhan CaSO_4 dibuat dengan cara melarutkan 0,100 M CaCl_2 anhidrat dan 0,100 M Na_2SO_4 yang masing-masing dilarutkan ke dalam 200 mL akuades. Kemudian masing-masing larutan tersebut dimasukkan ke dalam gelas kimia dan dipanaskan menggunakan *hot plate* serta diaduk menggunakan pengaduk magnet (*spinbar*) selama 10-15 menit dengan suhu sekitar 80-90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl_2 anhidrat 0,100 M dan larutan Na_2SO_4 0,100 M dicampurkan dan diaduk lagi menggunakan pengaduk magnet (*spinbar*) selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar kerak CaSO_4 dengan konsentrasi 0,100 M dapat terbentuk dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter. Selanjutnya larutan tersebut dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik yang telah steril sebanyak masing-masing 50 mL larutan pertumbuhan dan diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C. Pengamatan dapat dilakukan saat 20 menit pertama satu gelas diambil karena sudah mencapai kesetimbangan, kemudian diambil gelas berikutnya lagi setiap 10 menit sekali sampai pada gelas yang terakhir. Selanjutnya, larutan dalam gelas tersebut disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 sebesar 0,125; 0,15; dan 0,175 M.

3.3.4.2 Penentuan Laju Pertumbuhan CaSO_4 Dengan Penambahan Inhibitor pada Konsentrasi Larutan Pertumbuhan yang Berbeda dengan Metode *Unseeded Experiment*

Larutan Pertumbuhan CaSO_4 dengan penambahan inhibitor dibuat dengan cara melarutkan 0,100 M CaCl_2 anhidrat dan larutan 0,100 M Na_2SO_4 yang masing-

masing dilarutkan ke dalam larutan campuran 200 mL ekstrak kulit nanas 250 ppm dan 200 mL larutan asap cair *grade 2* 50 ppm (5:1). Kemudian masing-masing larutan tersebut dimasukkan ke dalam gelas kimia dan dipanaskan menggunakan *hot plate* serta diaduk menggunakan pengaduk magnet (*spinbar*) selama 10-15 menit dengan suhu sekitar 80 - 90 °C untuk menghomogenkan larutan. Kemudian larutan CaCl_2 anhidrat 0,100 M dan larutan Na_2SO_4 0,100 M dicampurkan dan dipanaskan kembali menggunakan *hot plate* serta diaduk menggunakan pengaduk magnet (*spinbar*) selama 15 menit dengan suhu 90 °C agar kerak CaSO_4 dengan konsentrasi 0,100 M dapat terbentuk dan diukur nilai pH-nya menggunakan pH meter, kemudian larutan tersebut dimasukkan ke dalam 6 gelas plastik yang telah steril sebanyak masing-masing 50 mL larutan pertumbuhan dan diletakkan dalam *waterbath* pada suhu 90 °C.

Pengamatan dapat dilakukan saat 20 menit pertama satu gelas diambil karena sudah mencapai kesetimbangan, kemudian diambil gelas berikutnya lagi setiap 10 menit sekali sampai pada gelas yang terakhir. Selanjutnya, larutan dalam gelas tersebut disaring menggunakan kertas saring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 3-4 jam. Percobaan ini diulang dengan variasi larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 sebesar 0,125; 0,15; dan 0,175 M, serta variasi konsentrasi larutan campuran inhibitor NA dengan 5:3; 5:5; dan 5:7 untuk menghasilkan larutan pertumbuhan kerak CaSO_4 .

Perbandingan campuran inhibitor NA yang paling efektif ditentukan laju pertumbuhannya dalam menghambat pertumbuhan kerak CaSO_4 dengan membuat variasi konsentrasi campuran inhibitor NA sebesar 50; 150; dan 250 ppm.

Pembuatan perbandingan campuran inhibitor yang memiliki efektivitas tertinggi dibuat dari larutan induk ekstrak kulit nanas dan asap cair tempurung kelapa *grade 2*.

3.4 Analisis Data

Data yang dianalisis diperoleh berdasarkan jumlah kristal CaSO_4 yang terbentuk terhadap waktu baik tanpa penambahan inhibitor maupun dengan penambahan inhibitor dengan adanya variasi konsentrasi larutan pertumbuhan CaSO_4 dan variasi konsentrasi inhibitor yang masing-masing akan diplot sebagai jumlah massa kristal CaSO_4 yang terbentuk terhadap waktu laju pertumbuhan kristal CaSO_4 menggunakan *Microsoft Excel* 2019. Nilai slope yang diperoleh dari masing-masing grafik merupakan pertumbuhan kerak CaSO_4 . Morfologi kerak kalsium sulfat (CaSO_4) sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Perubahan ukuran partikel CaSO_4 sebelum atau sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan *Particle Size Analyzer* (PSA). Struktur kristal CaSO_4 sebelum dan sesudah penambahan inhibitor dianalisis dengan *X-Ray Diffraction* (XRD).

V.SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Asap cair tempurung kelapa *grade 2* dan ekstrak kulit nanas 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 CaSO_4 0,100 M dengan menggunakan inhibitor NA (5:7) dengan konsentrasi 250 ppm dengan persentase penghambatan 79,51 %.
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 gypsum dan basanit pada difraktogram tanpa penambahan inhibitor, sedangkan pada difraktogram setelah penambahan inhibitor muncul fase baru yaitu anhidrit dengan mulai berkurangnya fase basanit.
5. Analisis distribusi ukuran partikel menggunakan PSA menunjukkan bahwa ukuran partikel rata-rata kerak CaSO_4 mengalami penurunan setelah

penambahan inhibitor NA (5:7) dengan konsentrasi 150 ppm terlihat dari nilai rata-rata dan nilai tengah ukuran partikel kerak CaSO_4 sebelum penambahan inhibitor dan setelah penambahan inhibitor.

5.2 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 asap cair tempurung kelapa *grade 2* dan ekstrak kulit nanas dengan metode yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisah, S. 2016. Efek Penambahan Ekstrak Gambir (*Uncaria Gambier Roxb*), Kemenyan Putih (*Styrx Benzoin Dryand*), dan Aditif Golongan Karboksilat sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3). *Skripsi*. Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Agoes, A. 2010. *Tanaman Obat Indonesia*. Jakarta: Selemba Medika.
- Al-Deffeeri, N. S. 2006. Heat Transfer Measurement as a Criterion for Performance Evaluation of Scale Inhibition in MSF Plants in Kuwait. *Journal of Desalination*. 204: 423–36.
- Antony, A., Low, J. H., Gray, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., and Leslie, G. 2011. Scale Formation and Control in High Pressure Membrane Water Treatment Systems: A Review. *Journal of Membrane Science*. 383: 1–16.
- Asnawati. 2001. Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak. *Jurnal Ilmu Dasar*. 2:1-20.
- Azimi, G., and Papangelakis, V. G. 2011. Mechanism and Kinetics of Gypsum-Anhydrite Transformation in Aqueous Electrolyte Solutions. *Hydrometallurgy*. Vol 108. Pp 122-129.
- Badr, A. dan Yassin, M. A. A. 2007. Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High-Barium Formation Water. *Journal of Applied Sciences*. 7(17): 2393–2403.
- Baugh, P. J. 1993. *Gas Chromatography: A Pratical Approach*. Oxford University Press. Inggris. 28: 11-21.
- Bhatia, A. 2003. *Cooling Water Problems and Solutions*. Continuing Education and Development, Inc. 9 Greyridge Farm Court Stony Point, NY 10980. Course no: M05-009.
- Brown, G. 1978. *Unit Operation*. Tokyo: John Wiley and Sons Inc.
- Boeyens, J. C. A., and Ichharam, V. V. H. 2002. *Redetermination of the Crystal Structure of Calcium Sulphate Dihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)*. Pretoria. Pretoria University.

- Callister, W. D and David, R. G. 2009. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8th Edition. John Wiley & Sons Inc. New York. Hal. 74.
- Chauhan, K., Sharma, P., and Chauhan, G. S. 2015. Removal/Dissolution of Mineral Scale Deposits. *Mineral Scale and Deposits Journal*. 701-720.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A., and King, G. 1999. Fighting Scala Removal and Prevention. *Oilfield Review*. 11 (3): 30-45.
- Cowan, J. C. and D. J. Weintritt. 1976. *Water Formed Scale Deposit*. Houston. Texas. Gulf Publishing Co. Hal. 484.
- 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. *Mineral Scale Formation and Inhibition*. Hal. 33-46.
- Demadis, K. D., Anagnostou, Z., and Zhao, H. 2009. Novel Calcium Carboxyphosphonate/Polycarboxylate Inorganic-Organic Hybrid Materials from Demineralization of Calcitic Biomineral Surfaces. *ACS Applied Materials Interfaces*. 1: 35-38.
- Drozd, J. 1975. Chemical Derivatization in Gas Chromatography. *Journal of Chromatography*. 113: 303-356.
- Guillen, M. D, and Manzanos, M. J. 1995. Study of the Components of a Solid Smoke Flavouring Preparation. *Food Chem*. 55: 251-257.
- Gumanti, F. M. 2006. Kajian Sistem Produksi Destilat Asap Tempurung Kelapa dan Pemanfaatannya sebagai Alternatif Bahan Pengawet Mie Basah. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi dan Scale pada Proses Produksi Minyak Bumi*. Laporan Penelitian Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Handayani, A. dan Sitompul, A. S. 2006. Teknik Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM-EDAX. *Makalah Kunjungan dan Demo PTBIN BATAN*. Serpong.
- Hartel, R.W. 2001. *Crystallization in Foods*. Aspen Publishers: USA.
- Hasson, D. and Semiat, R. 2005. Scale Control in Saline and Wastewater Desalination. *Israel Journal of Chemistry*. 46: 97-104.

- Himawati, E. 2010. Pengaruh Penambahan Asap Cair Tempurung Kelapa Destilasi dan Redestilasi Terhadap Sifat Kimia, Mikrobiologi, dan Sensoris Ikan Pindang Layang Selama Penyimpanan. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- 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.
- Hossaen, A. 2000. *Particle Size Analyzer*. Arab Saudi: King Fahd Petroleum & Mineral.
- James, P. M., and Syvitski. 1991. *Principles, Methods, and Application of Particle Size Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jayanudin dan Suhendi. E. 2012. Identifikasi Komponen Kimia Asap Cair Tempurung Kelapa dari Wilayah Anyer Banten. *Jurnal Agroekotek*. 4(1): 39-46.
- Kemmer, F. N. 1979. *The Nalco Water Hand Book*. Nalco Chemical Co. McGraw Hill Book CO. New York. 20: 1-19.
- Khopkar, S. M. 2001. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta. Hal.194-196.
- 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., 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 Tempurung Kelapa Secara Pirolisis dan Destilasi. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Lusiyannah. 2011. *Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Akar dari Akar Kucing (Acalypha indica) Terhadap Kelarutan Kalsium pada Batu Ginjal*. Palu. Universitas Tadulako.
- Maley, M. 1999. *Inhibition of Calcite Nucleation and Growth Using Phosphonate*. Curtin University of Technology Western Australia. Australia.

- 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*. Hal 78-84.
- 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. Bandar Lampung.
- Ratna, P. S. 2011. *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline Di Lapangan Minyak Limau*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.
- Reinecke, F., Groth, T., Heise, K. P., Joentgen, W., Muller, N., and Steinbuchel, A. 2000. Isolation and Characterization of an Achromobacter Xylosoxidans Strain B3 and Other Bacteria Capable to Degrade the Synthetic Chelating Agent Iminodisuccinate. *FEMS Microbiology Letters*. 188: 41-46.
- Rizal, W. A., Nisa, K., Maryana, R., Prasetyo, D. J., Pratiwi, D., Jatmiko, T. H., Ariani, D., and Suwanto, A. 2020. Chemical Composition of Liquid Smoke from Coconut Shell Waste Produced by SME in Rongkop Gunung Kidul. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Hal. 462.
- Salimin, Z., dan Gunandjar. 2007. Penggunaan EDTA Sebagai Pencegah Timbulnya Kerak pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair. *Prosiding HALIPDIPTN*. Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN. Yogyakarta.
- Severtson, S. J., Prasad, Y. D., Philip, W. C. and Peter, E. R. 1999. Mechanism and Chemical Control of CaCO_3 Scaling in The Kraft Process. *Tappi Journal*. 832 (6): 167-174.
- Siswoyo dan Erna, K. 2005. *Identifikasi Pembentukan Scale*. UPN Veteran Yogyakarta. Yogyakarta.
- Stamatakis, C., Chatzichristos, E., Sagen, J., Stubos, A., Palyvos, I., Muller, J., and Stokkan, J. A. 2006. An Integrated Radiotracer Approach for the Laboratory Evaluation of Scale Inhibitors Performance in Geological Environments. *Chemical Engineering Science*. 61: 7057-7067.
- Suharso. 2004. Effect of Sodium Lauryl Sulphate (SLS) on Growth Rate and Morphology of Borax Crystals. *Jurnal Sains & Teknologi*. 10(3):165-172.

- Suharso, Buhani, Suhartati, T., dan Aprilia, L. 2007. *Sintesis C- Metil-4,10,16,22 Tetrametoksi Kaliks[4]Arene dan Peranannya sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)*. Laporan Akhir Program Insentif. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, G. Parkinson, and Ogden, M. 2008. AFM Investigation of Borax (100) Face: Two-Dimensional Nucleation Growth. *Advances in Natural and Applied Sciences*. 2(3): 135-141.
- Suharso, Buhani, and Suhartati, T. 2009. The Role of C-Methyl-4,10,16,22 Tetrametoxy Calix [4] Arene as Inhibitor of Calcium Carbonate (CaCO₃) Scale Formation. *Indonesian Journal of Chemistry*. 9(2): 206 – 210.
- Suharso. 2010. Growth of the (001) Face of Borax Crystals. *Indonesian Journal of Chemistry*. 5(2): 98–100.
- Suharso dan Buhani. 2011. Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat. *Jurnal Natur Indonesia*. 13(2): 100-104.
- Suharso dan Buhani. 2012. *Penanggulangan Kerak*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung. ISBN: 978-979-8510-52-6.
- Suharso, Buhani, dan Aprilia, L. 2013. *Pengaruh Senyawa Turunan Kaliksarena Dalam Menghambat Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat (CaCO₃)*. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suharso, Buhani, and Aprilia, L. 2014. Influence of Calix [4] Arene Derived Compound on Calcium Sulphate Scale Formation. *Asian Journal of Chemistry*. 26(18): 6155–6158.
- Suharso, Buhani, Yuwono, S. D., and Tugiyono. 2017. Inhibition of Calcium Carbonate (CaCO₃) Scale Formation by Calix [4] Resorcinarene Compounds. *Desalination and Water Treatment*. 68: 32-39.
- Suparwaty. 2016. Pengaruh Penggunaan Kemenyan (Styrax Benzoin Dryand) sebagai Inhibitor Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat (CaSO₄). *Tesis*. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung. Lampung.
- Supratman, U. 2010. *Equilibrium Penentuan Senyawa Organik*. Universitas Padjajaran. Bandung. 102-108.
- Suyanti, D. W. 2010. *Strategi Pembelajaran Kimia*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tranggono., Suhardi., Setiadji, B., Supranto., Darmadji, P., dan Sudarmanto. 1996. Identifikasi Asap Cair dari Berbagai Jenis Kayu dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 1: 15-24.

- Torres, S. N. C. 2005. Improved Detection of TNT using SPME- TEEM-GC/MD Mode Immersion in Water dan Soil. *Thesis Master of Science*. University of Puerto Rico. Mayaguez Campus. 1-107.
- Totoki, S., Wada, Y., Moriya, N., and Shimaoka, H. 2007. DEP Active Grating Method: A New Approach for Size Analysis of Nano-Sized Particles. *Shimadzu Review*. 62: 173-79.
- Violeta, L., and Dalia, N. 2014. Influence of The Setting Activators On The Physical Mechanical Properties of Phosphoanhydrite. *Scientific Paper*. 20: 233-240.
- Wafiroh, S. 1995. *Pemurnian Garam Rakyat dengan Kristalisasi Bertingkat*. Laporan Penelitian. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Wang, L., Yin, G. J., and Yin, J. G. 2001. 2-Mercaptothiazoline and Cetylpyridinium Chloride as Inhibitors for The Corrosion of a Low Carbon Steel in Phosphoric Acid. *Corrosion Journal*. 43: 1197-1202.
- Webb, P. A. 2006. Interpretation Of Particle Size Reported by Different Analytical Techniques. *Micromeritics Instrument Corporation Journal*. 27: 3-64.
- Yulistiani, R. 2008. *Monograf Asap Cair Sebagai Bahan Pengawet Alami Pada Produk Daging dan Ikan*. Cetakan Pertama, Edisi 1. UPN Veteran. Surabaya.