

**PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF ALUMINA
5 DAN 10 ppm TERHADAP PEMBENTUKAN
KRISTAL KALSIMUM SULFAT**



TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang**

Disusun oleh:

SODIKIN

C2A214005

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2016**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF ALUMINA
5 DAN 10 ppm TERHADAP PEMBENTUKAN
KRISTAL KALSIMUM SULFAT**

Dipersiapkan dan disusun oleh :

SODIKIN

C2A214005

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada tanggal, 2016

Menyetujui

Koordinator Kerja Praktek/ TA
S1 Teknik Mesin

Ka. Prodi Teknik Mesin Unimus

M. Amin, ST., MT.
NIK. 28.6.1026.169

Rubijanto JP, ST.,MT
NIK.28.6.1026.091

Tim Pembimbing

Pembimbing I

Co. Pembimbing

Drs.Samsudi Raharjo, ST.,MM.,MT
NIK. 28.6.1026.028

Dr. RM. Bagus Irawan, ST.,M.Si.,IPP
NIK.28.6.1026.073

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sodikin

NIM : C2A214005

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan Zat Aditif Alumina 5 Dan 10 ppm
Terhadap Pembentukan Kristal Kalsium Sulfat

Menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul tersebut belum pernah dipublikasikan dilingkungan Universitas Muhammadiyah Semarang. Tugas Akhir ini saya susun dengan berdasarkan norma akademik dan bukan hasil plagiat. Adapun semua kutipan di dalam Tugas Akhir ini telah disesuaikan dengan tata cara penulisan karya ilmiah dengan menyertakan pembuat/penulis dan telah dicantumkan didalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima segala konsekuensinya.

Semarang, September 2016

Yang menyatakan,

Sodikin

HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Sodikin
NIM : C2A214005
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
Jenis Penelitian : Tugas akhir
Judul : Pengaruh Penambahan Zat Aditif Alumina 5 Dan 10 ppm Terhadap Pembentukan Kristal Kalsium Sulfat

Dengan ini menyatakan bahwa saya menyetujui untuk :

1. Memberikan hak bebas royalti kepada Perpustakaan Unimus atas penulisan karya ilmiah saya, demi pengembangan ilmu pengetahuan.
2. Memberikan hak penyimpanan, mengalih mediakan/mengalih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*data base*), mendistribusikannya, serta menampilkan dalam bentuk *softcopy* untuk kepentingan akademis kepada Perpustakaan Unimus, tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Perpustakaan Unimus, dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam karya ilmiah ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan semoga dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, September 2016

Yang Menyatakan,

Sodikin

HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO

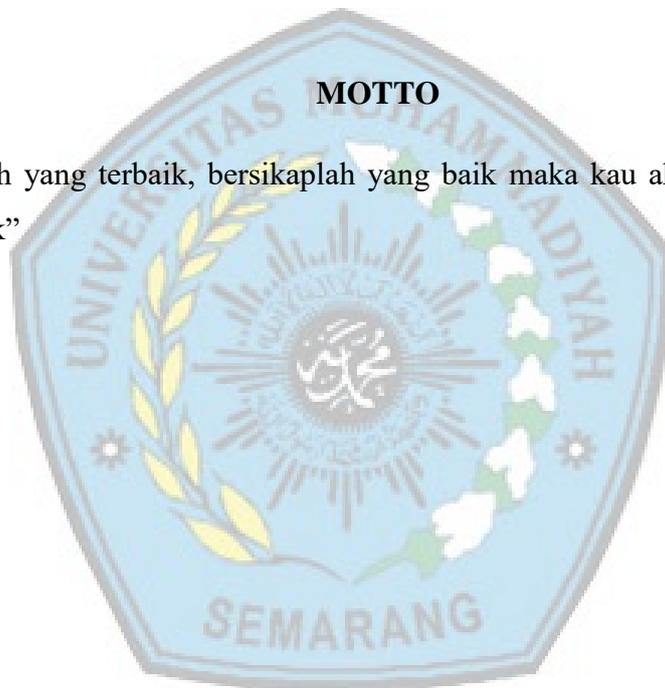
Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

Kedua orang tuaku tercinta yang selalu memberikan dukungan motivasi dan doa tiada henti.

Kakakku tercinta yang selalu memberikan nasehat serta masukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

MOTTO

“Lakukanlah yang terbaik, bersikaplah yang baik maka kau akan menjadi orang yang terbaik”



PENGARUH PENAMBAHAN ZAT ADITIF ALUMINA 5 DAN 10 ppm TERHADAP PEMBENTUKAN KRISTAL KALSIMUM SULFAT

**Oleh :
Sodikin
C2A214005**

**Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang**

Abstrak

Potensi kerak yang disebabkan oleh garam CaSO_4 (kalsium Sulfat) dimiliki hampir semua jenis sumber air di dunia seperti air tanah, air payau, air laut serta air limbah. Kalsium Sulfat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan material. Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengetahui proses pergerakan kalsium sulfat CaSO_4 didalam pipa, mengetahui pengaruh penambahan aditif alumina 5 ppm dan 10 ppm terhadap pembentukan kerak CaSO_4 dan mengkaji hasil morfologi kerak CaSO_4 . Percobaan dilakukan dengan beberapa kupon yang terbuat dari pipa tembaga yang merupakan bahan pipa yang umum digunakan dalam industri. Hasil yang didapatkan selama pengujian dengan mereaksikan CaCl_2 dan Na_2SO_4 menggunakan larutan Ca^{2+} berkonsentrasi 2000 ppm dengan laju alir 30 ml/menit dengan penambahan aditif alumina 5 ppm diperoleh waktu induksi 16 menit menurunkan massa kerak 49,5 % dan penambahan aditif alumina 10 ppm diperoleh waktu induksi 26 menit menurunkan massa kerak 77 %. Dan dari hasil SEM CaSO_4 memiliki bentuk Kristal monoklin.

Kata Kunci : CaSO_4 , Waktu induksi, Morfologi

EFFECT OF ADDITION EXPOSURE ADDITIVE ALUMINA 5 AND 10 ppm ON THE FORMATION OF CRYSTAL CALCIUM SULFATE

by :
Sodikin
C2A214005

**Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering
Muhammadiyah University of Semarang**

Abstract

Potential crust caused by CaSO_4 (calcium sulfate) is owned almost all types of water sources in the world such as ground water, brackish water, seawater and wastewater. Calcium Sulfate form a solid or a very strong deposit attached to the surface of the material. The purpose of this study is to determine the movement of calcium sulphate CaSO_4 in the pipeline, determine the effect of additive alumina 5 ppm and 10 ppm against scaling and assess the results of morphological CaSO_4 crust. Experiments were carried out with some coupons made of copper pipe that is common pipe materials used in the industry. The results obtained during testing by reacting CaCl_2 and Na_2SO_4 using a solution of Ca^{2+} concentration 2000 ppm with a flow rate of 30 ml / min with the addition of 5 ppm alumina additive is obtained within 16 minutes induction crust mass decrease 49.5% and 10 ppm additive alumina obtained at induction 26 minutes induction crust mass decrease 77%. And the results of SEM CaSO_4 has a monoclinic crystal form.

Keyword : CaSO_4 , time induction, Morphologi

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah - Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini disusun dan diajukan untuk diseminarkan sebagai salah satu syarat akademis di Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang. Penulis merasa banyak mendapat saran, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak selama menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Bapak Rubijanto Juni P, ST.,MT. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.
2. Bapak Drs. Samsudi Raharjo, ST., MT., MM. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.
3. Bapak Dr. RM.Bagus Irawan, ST.,M.Si.,IPP selaku Co. Pembimbing Tugas Akhir Program Studi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.
4. Bapak, Ibu dosen Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang yang telah memberikan perhatian dan ilmu yang tak ternilai harganya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penulis sangat menghargai kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan dari laporan ini. Akhir kata , dengan selesainya Tugas Akhir ini semoga memberikan manfaat bagi penulis dan juga orang lain

Semarang, September 2016

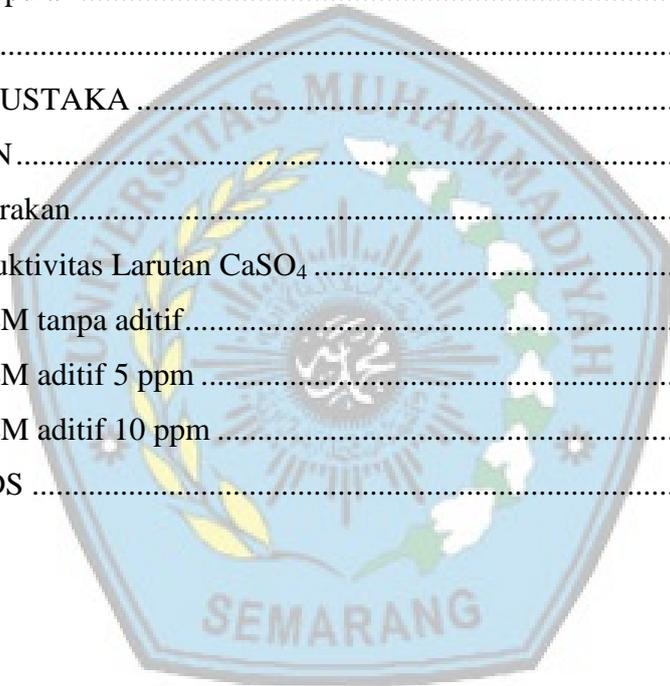
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN DAN MOTTO.....	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
NOMENKLATUR.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan dan Batasan Masalah.....	2
1.2.1 Perumusan masalah	2
1.2.2 Batasan masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kerak.....	4
2.2 Pembentukan Kerak.....	5
2.2.1 Tahap Pembentukan Inti (nukleasi).....	6
2.2.2 Tahap Pertumbuhan Inti	6
2.2.3 Tahap Pengendapan	6
2.3 Jenis kerak dan faktor yang mempengaruhi pembentukannya.....	7
2.4 Kristalisasi	8
2.5 Sistem Kristal.....	9
2.5.1 Sistem Kristal Kubus	9
2.5.2 Sistem Kristal <i>Tetragonal</i>	10

2.5.3	Sistem Kristal <i>Ortorombik</i>	10
2.5.4	Sistem Kristal <i>Monoklin</i>	11
2.5.5	Sistem Kristal <i>Triklin</i>	12
2.5.6	Sistem Kristal <i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	12
2.5.7	Sistem Kristal <i>Heksagonal</i>	13
2.6	Kalsium Klorida (CaCl_2)	15
2.6.1	Kegunaan Kalsium Klorida	15
2.7	Natrium Sulfat (NaSO_4).....	17
2.8	Alumina (Al_2O_3)	18
2.8.1	Kegunaan Alumina.....	19
2.9	Kalsium Sulfat (CaSO_4).....	21
2.10	Kerak kalsium Sulfat	22
2.11	Pengaruh konsentrasi Pembentukan Kerak	23
2.12	Waktu induksi.....	23
2.13	Scanning Electron Microscope (SEM).....	24
2.14	Energy Dispersive Spectroscopy (EDS).....	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		28
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	28
3.2	Tempat Pelaksanaan Penelitian	30
3.3	Bahan Penelitian	30
3.4	Alat Uji <i>Prototype Closed Circuit Scale Simulator</i>	30
3.5	Alat Ukur Yang Digunakan	31
3.6	Langkah Penelitian	33
3.6.1	Alat Eksperimen Pembentukan Kerak.....	33
3.6.2	Pengujian Alat	34
3.6.3	Pembuatan Larutan CaCl_2 , Na_2SO_4	34
3.6.4	Pembuatan Pipa Uji	36
3.7	Pengambilan Data.....	38
3.8	Pengukuran Konduktivitas larutan	38
3.9	Prosedur pengujian	38
3.10	Pengujian SEM dan <i>Microanalyzer</i> (EDS).....	39

3.10.1	Peralatan Pengujian	39
3.10.2	Prosedur Pengujian.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		42
4.1	Pengaruh Aditif Alumina Terhadap Massa Kerak.....	42
4.2	Pengaruh Aditif Alumina Terhadap Waktu Induksi.....	43
4.3	Pengujian SEM	44
4.4	Pengujian EDS.....	46
BAB 5 PENUTUP		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN		42
Hasil Pengerakan.....		42
Hasil Konduktivitas Larutan CaSO ₄		43
Hasil uji SEM tanpa aditif.....		44
Hasil uji SEM aditif 5 ppm		44
Hasil uji SEM aditif 10 ppm		45
Hasil uji EDS		46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Endapan kerak kalsium Sulfat dalam Pipa.....	4
Gambar 2.2 Sistem Kristal Kubus.....	10
Gambar 2.3 Sistem Kristal Tetragonal.....	10
Gambar 2.4 Sistem Kristal Ortorombik	11
Gambar 2.5 Sistem Kristal Monoklin	12
Gambar 2.6 Sistem Kristal Triklin	12
Gambar 2.7 Sistem Kristal Rombohedral atau Trigonal	13
Gambar 2.8 Sistem Kristal Heksagonal	14
Gambar 2.9 Kalsium Klorida	15
Gambar 2.10 Natrium Sulfat	18
Gambar 2.11 Alumina.....	19
Gambar 2.12 Kalsium Sulfat.....	22
Gambar 2.13 Electron gun	25
Gambar 2.14 detektor pada SEM	26
Gambar 2.15 Contoh dari aplikasi EDS	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2 Desain prototype Closed Circuit Scale Simulator.....	30
Gambar 3.3 Timbangan Digital	31
Gambar 3.4 Gelas ukur	32
Gambar 3.5 <i>Conductivity Meter</i>	32
Gambar 3.6 Stopwatch	33
Gambar 3.7 Skema <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	34
Gambar 3.8 Kupon	37
Gambar 3.9 Pengamplasan Sampel Pengujian.....	37
Gambar 3.10 Mesin SEM JEOL JSM-6510A.....	39
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Variasi 5 dan 10 Ppm Aditif Alumina Dengan Massa Kerak Kalsium Sulfat.....	42
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Konduktivitas Dengan Waktu	43
Gambar 4.3 Morfologi Kerak Kalsium Sulfat Tanpa Zat Aditif Alumina.....	44

Gambar 4.4 Morfologi Kerak Kalsium Sulfat Dengan Penambahan Zat Aditif Alumina 5 ppm.....	44
Gambar 4.5 Morfologi Kerak Kalsium Sulfat Dengan Penambahan Zat Aditif Alumina 10 ppm.....	45
Gambar 4.6 Gambar Hasil Analisis EDS.....	46



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jenis komponen endapan kerak.....	7
Tabel 2.2 Endapan kerak yang umum terdapat di ladang minyak	8
Tabel 2.3 Sistem Kristalisasi.....	14
Tabel 3.1 Spesifikasi mesin SEM JEOL-JSM-6510LA.....	40
Tabel 4.1 Hasil analisa mikro kristal kalsium sulfat	46



NOMENKLATUR

Ca = Kalsium

Cl = Klor

Na = Natrium

S = Sulfur

O = Oksigen

Al = Aluminium

Mg = Magnesium

Ba = Barium

Sr = Strontium

Fe = Besi

H = Hidrogen

Wt% = Weight persen

At% = Atomic persen

lt = Liter

α = Alpha

β = Beta

γ = Gamma

mg = miligram

ml = mililiter

ppm = part per million

$\mu\text{S/cm}$ = milisiemens per centimeter

keV = kilo electron volt



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengerakan kalsium sulfat tidak hanya fenomena kristalisasi yang terbentuk dalam proses alami (*biomineralization*), tetapi merupakan masalah yang sering ditemui dalam berbagai kegiatan industri (Setta dan Neville 2014). Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti alkalin, kalsium, klorid, sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri seperti *cooling tower, heat exchangers, pipe, casing manifold, tank* dan peralatan industri lainnya. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kiaei dan Haghtalab, 2014).

Potensi kerak yang disebabkan oleh garam CaSO_4 (kalsium sulfat) dimiliki hampir semua jenis sumber air di dunia seperti air tanah, air payau, air laut serta air limbah. Kalsium Sulfat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan material. Sejauh ini CaSO_4 merupakan penyebab kerak pada beberapa sistem seperti instalasi *cooling water* dan pada penelitian sebelumnya dihasilkan deposit kerak seberat 20 mg dalam satu proses (Bayu, 2016). Penyebab terjadi kerak di dalam pipa akan mengurangi diameter serta menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut, sehingga menimbulkan masalah terhambatnya aliran fluida. Terganggunya aliran fluida tersebut menyebabkan tekanan semakin tinggi, sehingga pipa mengalami kerusakan (Asnawati, 2001). Pembentukan kerak dapat dicegah dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air, akan tetapi penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang lebih tinggi (Sousa dan Bertran, 2014).

Tingkat pertumbuhan kristal ditentukan oleh pengaruh konsentrasi zat pembentuk kerak dalam sistem aliran. Semakin tinggi konsentrasi maka kecepatan pertumbuhan kristal akan semakin meningkat sehingga jumlah kerak yang terbentuk akan semakin besar. Rabizadeh (2014) menyatakan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi zat pembentuk kerak mempengaruhi kecepatan

pertumbuhan kerak. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi maka semakin besar tumbukan antar ion yang berdampak semakin cepat reaksi pembentukan kerak.

Oleh karena itu, pada penelitian ini mempelajari tentang pengaruh konsentrasi zat pembentuk kristal kerak CaSO_4 , sehingga pertumbuhan kerak kalsium sulfat yang terbentuk di dalam pipa-pipa industri dapat diketahui. Penelitian ini juga mempelajari perubahan fasa kristal dan pertumbuhan massa kerak.

1.2 Perumusan dan Batasan Masalah

1.2.1 Perumusan masalah

Pengerakan kalsium Sulfat sangat merugikan dalam proses produksi sehingga harus dilakukan usaha untuk menghambat pembentukannya dengan cara mengatur parameter proses yang mempengaruhi pertumbuhannya, diantaranya adalah konsentrasi material pembentuk kristal kerak kalsium sulfat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana proses pembentukan kerak CaSO_4 dalam pipa memvariasikan penambahan zat aditif alumina 5 dan 10 ppm, kecepatan alir 30 ml/min dengan suhu 40°C .

1.2.2 Batasan masalah

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan kerak yang dikaji yaitu kerak kalsium sulfat. Pemilihan ini didasari pertimbangan bahwa kerak kalsium sulfat adalah jenis kerak yang paling banyak dijumpai dalam lingkungan dalam industri (Rabizadeh, 2014). Pengerakan kalsium sulfat sangat merugikan dalam proses produksi sehingga harus dilakukan usaha untuk mengetahui pembentukannya dengan cara mengatur parameter proses yang mempengaruhi pertumbuhannya, diantaranya adalah konsentrasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana proses pembentukan kerak kalsium sulfat dalam pipa pada variasi penambahan zat aditif alumina 5 dan 10 ppm.

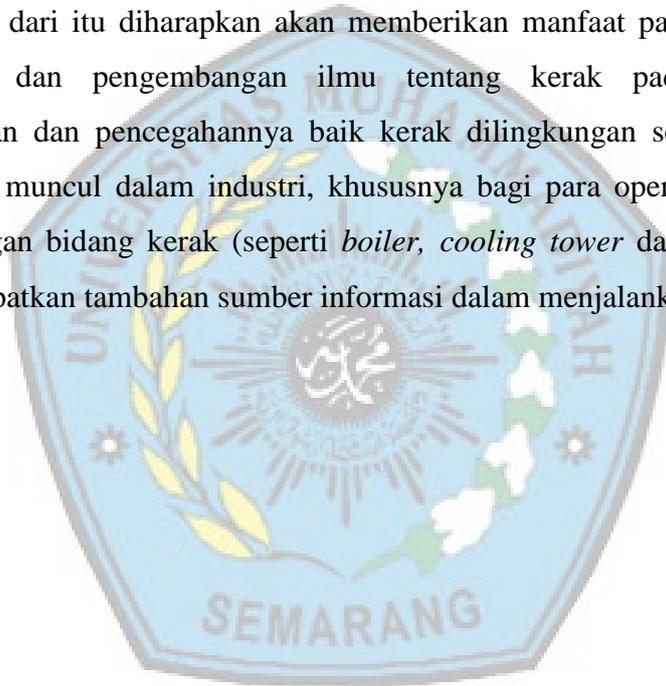
1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui proses pergerakan kalsium sulfat CaSO_4 di dalam pipa.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan aditif 5 ppm dan 10 ppm terhadap pembentukan kerak CaSO_4 .
- c. Mengetahui morfologi kerak CaSO_4

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental yang hasilnya berupa data empirik tentang fenomena pembentukan kerak kalsium Sulfat (CaSO_4) dan proses pencegahan terbentuknya kerak dengan menambahkan aditif asam sitrat 5 dan 10 ppm. Maka dari itu diharapkan akan memberikan manfaat pada umumnya bagi pengkajian dan pengembangan ilmu tentang kerak pada aspek proses pembentukan dan pencegahannya baik kerak dilingkungan sehari-hari maupun kerak yang muncul dalam industri, khususnya bagi para operator industri yang terkait dengan bidang kerak (seperti *boiler*, *cooling tower* dan *heat exchanger*) bias mendapatkan tambahan sumber informasi dalam menjalankan tugasnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerak

Kerak merupakan endapan yang terbentuk dari proses kristalisasi dan pengendapan mineral yang terkandung dalam suatu zat. Pembentukan kerak biasanya terjadi di bidang-bidang yang bersentuhan secara langsung dengan suatu fluida selama proses produksi, seperti alat penukar panas (*heat exchangers*), rangkaian pompa dalam sumur (*downhole pump*), pipa produksi, pipa selubung, pipa alir, serta peralatan produksi lainnya (Crabtree dkk,1990).

Adanya endapan kerak pada komponen-komponen tersebut diatas, dapat menghambat aliran fluida baik dalam pipa maupun alat *heat exchangers*. Pada *heat exchangers*, endapan kerak akan mengganggu transfer panas sehingga menyebabkan panas akan semakin meningkat. Sedangkan pada pipa-pipa, hambatan aliran terjadi karena adanya penyempitan volume alir fluida serta penambahan kekasaran permukaan pipa bagian dalam, seperti yang terlihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Endapan kerak kalsium Sulfat dalam Pipa
(Sumber : Raharjo S., 2016)

2.2 Pembentukan Kerak

Faktor utama berpengaruh terhadap pembentukan, pertumbuhan kristal serta pengendapan kerak antara lain adalah perubahan kondisi reservoir, penurunan tekanan reservoir dan perubahan temperatur, pencampuran 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 (Antony dkk, 2011).

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).

Dalam proses produksi, perubahan kelarutan terjadi seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama 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).

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

- a. Air mengandung ion-ion yang memiliki kecenderungan untuk membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai angka kelarutan rendah.
- b. Adanya perubahan kondisi fisik atau komposisi air yang akan menurunkan kelarutan lebih rendah dari konsentrasi yang ada.
- c. Kenaikan temperatur akan menyebabkan terjadinya proses penguapan, sehingga akan terjadi perubahan kelarutan.
- d. Air formasi yang mempunyai derajat keasaman (pH) besar akan mempercepat terbentuknya endapan kerak.
- e. 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 μ (ukuran koloid), kemudian tumbuh lagi sampai diameter 0,1 – 10 μ (kristal halus). Kristal akan mulai mengendap saat pertumbuhannya mencapai diameter > 10 μ (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 Jenis kerak dan faktor yang mempengaruhinya

Ion yang berbentuk padatan dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk endapan kerak antara lain adalah kalsium Sulfat (CaSO_4), gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dan barium sulfat (BaSO_4). Endapan kerak yang lain adalah stronsium sulfat (SrSO_4) yang mempunyai intensitas pembentukan rendah dan kalsium sulfat (CaSO_4), yang biasa terbentuk pada peralatan pemanas, yaitu *boilers* dan *heater traters*, serta kerak dengan komponen besi, seperti *iron carbonate* (FeCO_3), *iron sulfide* (FeS) dan *iron oxide* (Fe_2O_3), seperti yang terlihat pada **Tabel 2.1** (Ratna, 2011).

Kerak dapat dikenali dengan mengklasifikasikannya berdasarkan komposisi yang membentuk kerak dan jenis pengendapannya. Berdasarkan komposisinya, cara umum kerak dibedakan menjadi kerak Sulfat, kerak sulfat, serta campuran dari keduanya (Siswoyo dan Erna, 2005).

Tabel 2.1 Jenis Komponen Endapan Kerak

Chemical name	Chemical formula	Mineral name
Water soluble scale Natrium chloride	NaCl	Halite
Acid soluble scale Calcium carbonat Iron carbonat Iron sulfide Iron oxide Iron oxide Magnesium hydroxide	CaCO_3 FeCO_3 FeS_7 Fe_2O_3 Fe_2O_4 $\text{Mg}(\text{OH})_2$	Calcite Siderite Trolite Hematite Magnetit Brucite
Acid insoluble scale Calcium sulfat Calcium sulfat	CaSO_4 CaSO_4	Anhydrate Gypsum

(Sumber : Ratna, 2011)

Dari sekian banyak jenis kerak yang dapat terbentuk, hanya sebagian kecil yang seringkali dijumpai pada industri perminyakan. **Tabel 2.2** menunjukkan jenis-jenis kerak yang umum terdapat di lapangan.

Tabel 2.2 Endapan Kerak Yang Umum Terdapat di Ladang Minyak

Jenis kerak	Rumus kimia	Faktor yang berpengaruh
Kalsium karbonat (kalsit)	CaCO_3	<ul style="list-style-type: none"> • Penurunan tekanan (Ca_2) • Perubahan temperatur • Kandungan garam terlarut • Perubahan keasamaan (pH)
Kalsium sulfat Gypsum (sering hemi-Hydrate anhydrite)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ CaSO_4	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Barium sulfat Strontium sulfat	BaSO_4 SrSO_4	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Komponen besi Besi Sulfat Sulfide besi Ferrous hydroxide Rerric hydroxide	FeCO_3 FeS $\text{Fe}(\text{OH})_2$ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ Fe_2O_3	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kandungan gas terlarut • Derajat keasamaan (pH)

(Sumber : Ratna, 2011)

2.4 Kristalisasi

Kristalisasi merupakan peristiwa pembentukan partikel-partikel zat padat dalam suatu fase homogen. Kristalisasi dari larutan dapat terjadi jika padatan terlarut dalam keadaan berlebih (diluar kesetimbangan), maka sistem akan mencapai kesetimbangan dengan cara mengkristalkan padatan terlarut (Dewi dan Ali, 2003). Kristalisasi senyawa dalam larutan langsung pada permukaan transfer panas dimana kerak terbentuk memerlukan tiga faktor simultan yaitu konsentrasi lewat jenuh (*supersaturation*), terbentuknya inti kristal dan waktu kontak yang

memadai. Pada saat terjadi penguapan, kondisi jenuh (*saturation*) dan kondisi lewat jenuh (*supersaturation*) dicapai secara simultan melalui pemekatan larutan dan penurunan daya larut seimbang saat kenaikan suhu menjadi suhu penguapan.

Dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut bila ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis (inti 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 terjadi pertumbuhan kristal. Laju pertumbuhan kristal ditentukan oleh laju difusi zat terlarut pada permukaan kristal dan laju pengendapan zat terlarut pada kristal tersebut. Daya dorong difusi zat-zat terlarut adalah perbedaan antara konsentrasi zat-zat terlarut pada permukaan kristal dan pada larutan. Kristal-kristal yang telah terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008).

2.5 Sistem Kristal

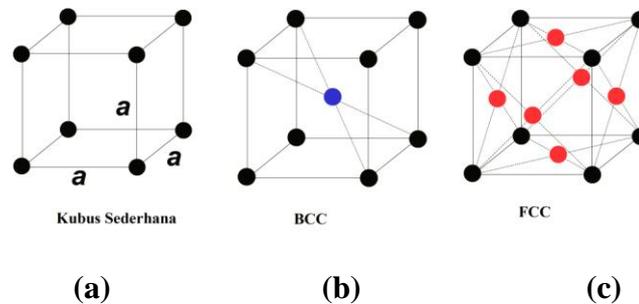
Sistem kristal dapat dibagi ke dalam 7 sistem kristal. Adapun ke tujuh sistem kristal tersebut adalah kubus, *tetragonal*, *ortorombik*, *heksagonal*, *trigonal*, *monoklin*, dan *triklin*.

2.5.1 Sistem Kristal Kubus

Sistem kristal kubus memiliki panjang rusuk yang sama ($a = b = c$) serta memiliki sudut ($\alpha = \beta = \gamma$) sebesar 90° . Sistem kristal kubus ini dapat dibagi ke dalam 3 bentuk yaitu kubus sederhana (*simple cubic/ SC*), kubus berpusat badan (*body-centered cubic/ BCC*) dan kubus berpusat muka (*Face-centered Cubic/ FCC*).

Berikut bentuk dari ketiga jenis kubus yaitu pada kubus sederhana masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) kubus, pada kubus BCC masing-masing terdapat satu atom pada semua pojok kubus, dan terdapat satu atom pada pusat kubus (yang ditunjukkan dengan atom warna biru). Pada kubus FCC selain terdapat masing-masing satu atom pada semua pojok kubus, juga

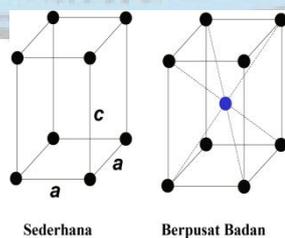
terdapat atom pada diagonal dari masing-masing sisi kubus (yang ditunjukkan dengan atom warna merah).



Gambar 2.2 Sistem Kristal Kubus
(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

2.5.2 Sistem Kristal *Tetragonal*

Pada sistem kristal *tetragonal* dua rusuknya yang memiliki panjang sama ($a = b \neq c$) dan semua sudut ($\alpha = \beta = \gamma$) sebesar 90° . Pada sistem kristal *tetragonal* ini hanya memiliki dua bentuk yaitu sederhana dan berpusat badan. Pada bentuk *tetragonal* sederhana mirip dengan kubus sederhana dimana masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) *tetragonal*. Sedangkan pada berpusat badan mirip pula dengan kubus berpusat badan yaitu memiliki 1 atom pada pusat *tetragonal* (ditunjukkan pada atom warna biru), dan atom lainnya berada pada pojok (sudut) *tetragonal*.

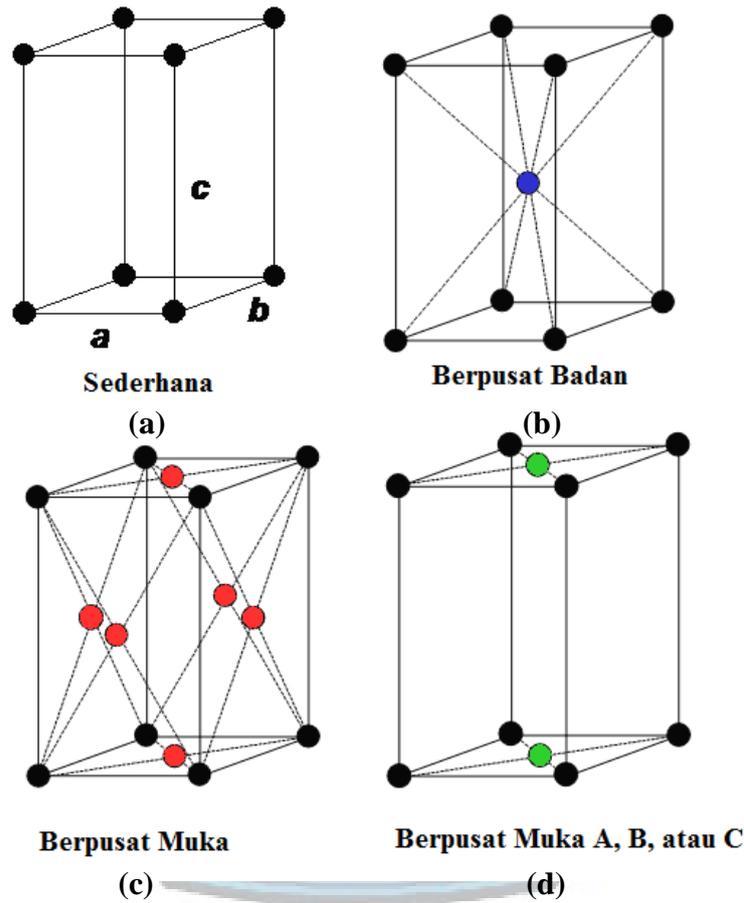


Gambar 2.3 Sistem Kristal Tetragonal
(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

2.5.3 Sistem Kristal *Ortorombik*

Sistem kristal *ortorombik* terdiri atas 4 bentuk yaitu : *ortorombik* sederhana, *body center* (berpusat badan) yang ditunjukkan atom dengan warna merah,

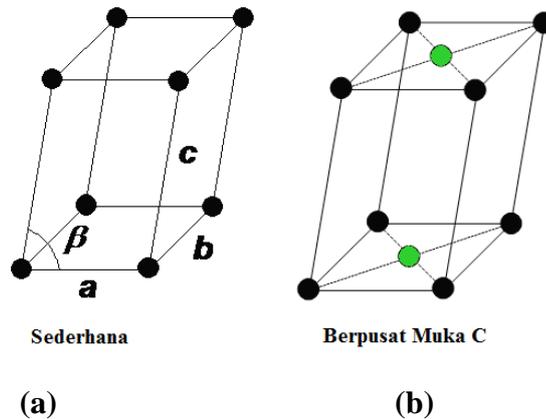
berpusat muka (yang ditunjukkan atom dengan warna biru), dan berpusat muka pada dua sisi *ortorombik* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau). Panjang rusuk dari sistem kristal *ortorombik* ini berbeda-beda ($a \neq b \neq c$), dan memiliki sudut yang sama ($\alpha = \beta = \gamma$) yaitu sebesar 90° .



Gambar 2.4 Sistem Kristal Ortorombik
(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

2.5.4 Sistem Kristal *Monoklin*

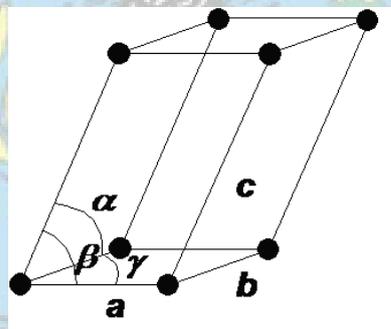
Sistem kristal *monoklin* terdiri atas 2 bentuk yaitu : *monoklin* sederhana dan berpusat muka pada dua sisi *monoklin* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau). Sistem kristal *monoklin* ini memiliki panjang rusuk yang berbeda-beda ($a \neq b \neq c$), serta sudut $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta \neq 90^\circ$.



Gambar 2.5 Sistem Kristal Monoklin
(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

2.5.5 Sistem Kristal *Triklin*

Pada sistem kristal *triklin*, hanya terdapat satu orientasi. Sistem kristal ini memiliki panjang rusuk yang berbeda ($a \neq b \neq c$), serta memiliki besar sudut yang berbeda-beda pula yaitu $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$.

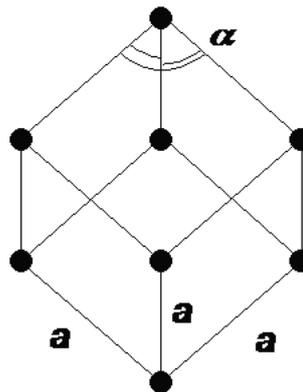


Gambar 2.6 Sistem Kristal Triklin
(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

2.5.6 Sistem Kristal *Rombohedral* atau *Trigonal*

Jika kita membaca beberapa referensi luar, sistem ini mempunyai nama lain yaitu Rhombohedral, selain itu beberapa ahli memasukkan sistem ini kedalam sistem kristal Hexagonal. Demikian pula cara penggambarannya juga sama. Perbedaannya, bila pada sistem Trigonal setelah terbentuk bidang dasar, yang terbentuk segienam, kemudian dibentuk segitiga dengan menghubungkan dua titik sudut yang melewati satu titik sudutnya.

Pada kondisi sebenarnya, Trigonal memiliki axial ratio (perbandingan sumbu) $a = b = d \neq c$, yang artinya panjang sumbu a sama dengan sumbu b dan sama dengan sumbu d, tapi tidak sama dengan sumbu c. Dan juga memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = 90^\circ$; $\gamma = 120^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, sudut α dan β saling tegak lurus dan membentuk sudut 120° terhadap sumbu γ .

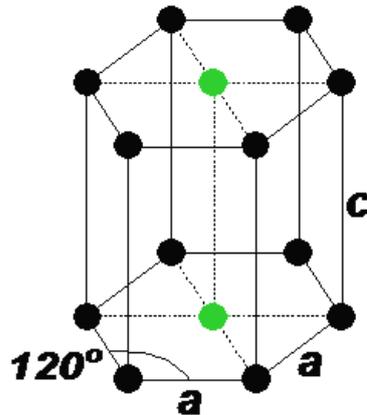


Gambar 2.7 Sistem Kristal Rombohedral atau Trigonal
(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

Pada penggambaran dengan menggunakan proyeksi orthogonal, sistem kristal Trigonal memiliki perbandingan sumbu $a : b : c = 1 : 3 : 6$. Artinya, pada sumbu a ditarik garis dengan nilai 1, pada sumbu b ditarik garis dengan nilai 3, dan sumbu c ditarik garis dengan nilai 6 (nilai bukan patokan, hanya perbandingan). Dan sudut antar sumbunya $a^+b^- = 20^\circ$; $d^-b^+ = 40^\circ$. Hal ini menjelaskan bahwa antara sumbu a^+ memiliki nilai 20° terhadap sumbu b^- dan sumbu d^- membentuk sudut 40° terhadap sumbu b^+ .

2.5.7 Sistem Kristal Heksagonal

Pada sistem kristal ini sesuai dengan namanya *heksagonal* (*heksa* = enam), maka sistem ini memiliki 6 sisi yang sama. Sistem kristal ini memiliki dua nilai sudut yaitu 90° dan 120° ($\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$), sedangkan panjang rusuk-rusuknya adalah $a = b \neq c$. Semua atom berada pada sudut-sudut (pojok) *heksagonal* dan terdapat masing-masing atom berpusat muka pada dua sisi *heksagonal* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau).



Gambar 2.8 Sistem Kristal Heksagonal
(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

Secara keseluruhan, dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Sistem Kristalisasi

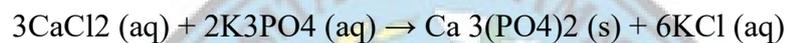
No.	Sistem Kristal	Kisi Bravais	Panjang rusuk	Besar sudut-sudut
1.	Kubus	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana Berpusat badan Berpusat muka 	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
2.	<i>Tetragonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana Berpusat Badan 	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
3.	<i>Ortorombik</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana Berpusat badan Berpusat muka Berpusat muka A, B, atau C 	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
4.	<i>Monoklin</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana Berpusat muka C 	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$
5.	<i>Triklin</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana 	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
6.	<i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana 	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
7.	<i>Heksagonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana 	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
Total	7 Sistem Kristal	14 Kisi Bravais		

(Sumber : rolanrusli.com/sistem-kristal-dan-kisi-bravais/)

2.6 Kalsium Klorida (CaCl₂)

Kalsium klorida, CaCl₂, merupakan salah satu jenis garam yang terdiri dari unsur kalsium (Ca) dan klorin (Cl). Garam ini berwarna putih dan mudah larut dalam air. Kalsium klorida tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mudah terbakar. Kalsium klorida termasuk dalam tipe ion halida, dan padat pada suhu kamar. Karena sifat higroskopisnya, kalsium klorida harus disimpan dalam kontainer kedap udara rapat tertutup (Scribd, 2010).

Kalsium klorida dapat berfungsi sebagai sumber ion kalsium dalam larutan, tidak seperti banyak senyawa kalsium lainnya, kalsium klorida mudah larut. Zat ini dapat berguna untuk menggantikan ion dari larutan. Sebagai contoh, fosfat dipindahkan dari larutan oleh kalsium :



Larutan kalsium klorida dapat dielektrolisis untuk memberikan logam kalsium dan gas klor (Scribd, 2010) :



Gambar 2.9 Kalsium Klorida
(Sumber : en.wikipedia.org/wiki/Calcium_chloride)

2.6.1 Kegunaan Kalsium Klorida

Kalsium klorida mempunyai banyak kegunaan, antara lain sebagai berikut (Scribd, 2010) :

1. Sebagai zat pengering (Dessicant)

Karena sifat higroskopisnya, kalsium klorida sering digunakan dalam pengering tabung untuk menghilangkan uap air. Hal ini digunakan untuk

mengeringkan rumput laut, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan abu soda. Kalsium klorida telah disetujui oleh FDA (Food and Drug Administration) sebagai bahan kemasan untuk memastikan kekeringan. Zat ini juga dapat digunakan untuk mengikat partikel debu dan menjaga kelembaban pada permukaan jalan beraspal.

2. Sebagai zat pencair es (De-icing) dan penekanan titik beku

Dengan menekan titik beku, kalsium klorida digunakan untuk mencegah terbentuknya es dan untuk mencairkan es pada permukaan jalan. Tidak seperti natrium klorida yang lebih umum digunakan, kalsium klorida relatif tidak berbahaya untuk tanaman dan tanah. Pemakaian kalsium klorida juga lebih efektif pada suhu yang lebih rendah daripada natrium klorida. Larutan kalsium klorida dapat mencegah pembekuan pada suhu serendah -52°C (-62°F).

3. Sebagai sumber ion kalsium

Kalsium klorida umumnya ditambahkan untuk meningkatkan jumlah kalsium terlarut dalam air kolam renang. Kalsium klorida digunakan untuk meningkatkan kekerasan di kolam renang. Hal ini dapat mengurangi erosi beton di kolam renang.

4. Sebagai zat aditif dalam industri makanan

Kalsium klorida telah terdaftar sebagai zat aditif dalam makanan. Rata-rata konsumsi kalsium klorida sebagai bahan tambahan pangan adalah sekitar 160-345 mg/ hari untuk individu. Kalsium klorida juga digunakan zat pengawet dalam sayuran kalengan, dalam pemrosesan dadih kacang kedelai menjadi tahu dan dalam memproduksi pengganti kaviar dari jus sayuran atau buah. Dalam pembuatan minuman bir, kalsium klorida digunakan untuk memperbaiki kekurangan mineral dalam air pembuatan bir. Ini mempengaruhi rasa dan reaksi kimia selama proses pembuatan bir, dan juga dapat mempengaruhi fungsi ragi selama fermentasi. Kalsium klorida kadangkadang ditambahkan ke dalam susu olahan untuk mengembalikan keseimbangan kalsium yang

hilang selama pemrosesan dan untuk menjaga keseimbangan protein dalam kasein pada pembuatan keju.

5. Dalam bidang kedokteran

Kalsium klorida dapat disuntikkan sebagai terapi intravena untuk pengobatan hipokalsemia, yaitu penyakit berkurangnya kadar kalsium dalam tubuh.

6. Kalsium klorida dapat digunakan sebagai zat aditif dalam pemrosesan plastik, pipa dan semen.

2.7 Natrium Sulfat (NaSO₄)

Natrium sulfat, dengan rumus kimia Na₂SO₄, atau sering disebut dengan salt cake, merupakan padatan berbentuk kristal putih, yang larut dalam air dan gliserol. Natrium sulfat tidak beracun and tidak mudah terbakar.

Natrium sulfat biasanya diproduksi melalui proses Hargraves, dengan reaksi pembentukan sebagai berikut:



Natrium sulfat banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri, antara lain di industri pulp dan kertas, deterjen, pembuatan flat glass, tekstil, keramik, farmasi, zat pewarna dan sebagai reagent di laboratorium kimia.

Selain melalui proses Hargraves, natrium sulfat juga dapat dihasilkan dengan cara pemurnian garam natrium sulfat (pertambangan) atau sebagai produk samping dari produksi fenol. Sementara itu di Indonesia natrium sulfat umumnya diperoleh sebagai produk samping dari industri viscose rayon. Kegunaan natrium sulfat dalam bidang industri antara lain :

1. Pembuatan deterjen.
2. Pembuatan proses Kraft pulping dari kertas.
3. Produksi asam klorida.
4. Pembuatan industri tekstil
5. Pembuatan dalam industri farmasi
6. Pembuatan gelas



Gambar 2.10 Natrium Sulfat
(Sumber : id.wikipedia.org/wiki/Natrium_sulfat)

2.8 Alumina (Al₂O₃)

Alumina (Al₂O₃) merupakan material keramik nonsilikat yang paling penting. Material ini meleleh pada suhu 2051° C dan mempertahankan kekuatannya bahkan pada suhu 1500 sampai 1700° C. Alumina mempunyai ketahanan listrik yang tinggi dan tahan terhadap kejutan termal dan korosi. Alumina (Al₂O₃) diperoleh dari pengolahan biji bauksit yang mengandung 50-60% Al₂O₃; 1-20% Fe₂O₃; 1-10% silika; sedikit sekali titanium, zirkonium dan oksida logam transisi lain; dan sisanya (20- 30%) adalah air. Pengolahan ini dilakukan dengan menggunakan proses Bayer yang mengambil manfaat dari fakta bahwa oksida alumina amfoter larut dalam basa kuat tetapi besi (III) oksida tidak. Proses Bayer terdiri dari tiga tahap reaksi yaitu:

1. Proses Ekstraksi

Bauksit mentah dilarutkan dalam natrium hidroksida



dan dipisahkan dari besi oksida terhidrasi serta zat asing tak larut lainnya dengan penyaringan.

2. Proses Dekomposisi

Aluminium oksida terhidrasi murni mengendap bila larutan didinginkan sampai lewat jenuh dan dipancing menjadi kristal dari produk:



3. Proses Kalsinasi

Air hidrasi dibuang melalui kalsinasi pada suhu tinggi (1200° C).



Alumina yang dihasilkan melalui proses Bayer ini, mempunyai kemurnian yang tinggi dengan konsumsi energi yang relatif rendah (Oxtoby, 2003).

Aluminium oksida (Al_2O_3) atau yang lebih dikenal dengan alumina adalah insulator (penghambat) panas dan listrik yang baik. Aluminium oksida (Al_2O_3) berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap perkaratan dengan udara. Logam aluminium sebenarnya amat mudah bereaksi dengan oksigen di udara. Aluminium bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida, yang terbentuk sebagai lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Lapisan ini melindungi logam aluminium dari oksidasi lebih lanjut. ([http://id.wikipedia.org/wiki/Aluminium oksida](http://id.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oksida))



Gambar 2.11 Alumina

(Sumber : id.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oksida)

2.8.1 Kegunaan Alumina

Sebagian besar alumina dikonsumsi untuk produksi aluminium, biasanya melalui proses Aul. Penggunaan lainnya antara lain :

<http://lib.unimus.ac.id>

1. Sebagai Pengisi

Menjadi cukup *inert* secara kimia dan putih, alumina sebagai pengisi yang lebih disukai untuk plastik. Namun, alumina diklasifikasikan memiliki bukti kuat neurotoksisitas pada manusia dan tercantum dalam Daftar Zat Domestik Lingkungan Kanada sebagai “diharapkan beracun atau berbahaya”. Alumina adalah suatu bahan yang biasa tabir surya dan terkadang terdapat dalam kosmetika seperti *blush*, lipstik, dan cat kuku.

2. Sebagai Katalis dan Pendukung Katalis

Alumina mengkatalisis berbagai reaksi yang berguna secara industri. Dalam aplikasi skala terbesar, alumina adalah katalis dalam proses Claus untuk mengonversi gas hidrogen sulfida sampah menjadi unsur sulfur di kilang. Alumina juga berguna untuk dehidrasi alkohol menjadi alkena.

Alumina berfungsi sebagai pendukung katalis untuk katalis industri, seperti yang digunakan dalam hidrodesulfurisasi dan beberapa polimerisasi Ziegler-Natta. Zeolit dihasilkan dari alumina.

3. Aplikasi Penyerapan Pemurnian Gas dan Terkait

Alumina secara luas digunakan untuk menghilangkan air dari aliran gas. Aplikasi utama lainnya dijelaskan di bawah ini.

4. Sebagai Amplas/gerinda

Aluminium oksida digunakan karena kekerasan dan kekuatannya. Hal ini banyak digunakan sebagai amplas kasar atau halus, termasuk sebagai pengganti yang jauh lebih murah untuk industri berlian. Banyak jenis amplas kristal aluminium oksida digunakan. Selain itu, panas yang rendah dan retensi panas spesifik rendah membuat banyak digunakan dalam operasi gerinda, terutama alat pemotong. Sebagai mineral *aloxite* tepung kasar, itu adalah komponen utama, bersama dengan silika, dari *cue tip* “kapur tulis” yang digunakan dalam biliard. Serbuk aluminium oksida digunakan dalam beberapa polishing CD/DVD dan *scratch-repair kit*. Polishing kualitasnya juga berada di balik penggunaannya dalam pasta gigi. Alumina dapat ditumbuhkan

sebagai pelapis pada aluminium dengan anodisasi atau dengan oksidasi elektrolit plasma (lihat “Sifat-sifat” di atas). Kedua kekuatan dan karakteristik abrasif tinggi berasal dari kekerasan (9 pada skala Mohs kekerasan mineral) dari oksida aluminium. Sebagian besar pra-penyelesaian kayu lantai sekarang menggunakan aluminium oksida sebagai pelindung lapisan keras.

5. Dalam kedokteran gigi, digunakan sebagai bahan *polishing* untuk menghilangkan noda. Ini adalah sebuah alternatif untuk natrium bikarbonat, untuk pasien yang memiliki tekanan darah tinggi.
6. Sebagai Pigmen Efek
Aluminium oksida serpih bahan dasar untuk pigmen efek. Pigmen ini banyak digunakan untuk aplikasi dekoratif misalnya dalam industri otomotif atau kosmetik.

2.9 Kalsium Sulfat (CaSO_4)

Kalsium sulfat merupakan garam yang terjadi subur di lingkungan alam. Ini adalah senyawa kalsium, sulfur dan oksigen, dan dalam bentuk yang paling murni memiliki rumus kimia CaSO_4 , dalam anhidrat dikenal sebagai kalsium sulfat, atau anhidrit mineral. Jika dalam bentuk hydrous dikenal sebagai mineral gipsum, yang memiliki rumus $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Gipsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Gipsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat. Gipsum adalah salah satu dari beberapa mineral yang teruapkan. Contoh lain dari mineral-mineral tersebut adalah karbonat, borat, nitrat, dan sulfat. Mineral - mineral ini diendapkan di laut, danau, gua dan di lapisan garam karena konsentrasi ion-ion oleh penguapan. Ketika air panas atau air memiliki kadar garam yang tinggi, gipsum berubah menjadi basanit ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) atau juga menjadi anhidrit (CaSO_4). Dalam keadaan seimbang, gipsum yang berada di atas suhu 108 °F atau 42 °C dalam air murni akan berubah menjadi anhidrit.

Gypsum termasuk mineral dengan sistem kristal monoklin 2/m, namun kristal gipsnya masuk ke dalam sistem kristal orthorombik. Gypsum umumnya berwarna putih, kelabu, cokelat, kuning, dan transparan. Hal ini tergantung mineral pengotor yang berasosiasi dengan gipsium. Gypsum umumnya memiliki sifat lunak dan pejal dengan skala Mohs 1,5 – 2. Berat jenis gipsium antara 2,31 – 2,35, kelarutan dalam air 1,8 gr/liter pada 0 °C yang meningkat menjadi 2,1 gr/liter pada 40 °C, tapi menurun lagi ketika suhu semakin tinggi. Gypsum memiliki kilap sutra hingga kilap lilin, tergantung dari jenisnya. Gores gipsium berwarna putih, memiliki derajat ketransparanan dari jenis transparan hingga translucent, serta memiliki sifat menolak magnet atau disebut diamagnetit.



Gambar 2.12 Kalsium Sulfat
(Sumber : id.wikipedia.org/wiki/Gypsum)

2.10 Kerak kalsium Sulfat

Kerak kalsium Sulfat merupakan endapan senyawa CaSO_4 yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dengan ion Sulfat (SO_4^{-2}) ataupun dengan ion biSulfat (HSO_4^-), dengan reaksi pembentukan sebagai berikut :



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

- a. meningkatnya temperatur
- b. penurunan tekanan parsial CO₂
- c. peningkatan pH
- d. laju alir
- e. 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 dkk, 2011).

2.11 Pengaruh konsentrasi Pembentukan Kerak

Kelarutan kalsium Sulfat akan semakin berkurang dengan bertambahnya temperatur, sehingga semakin besar konsentrasi maka tingkat kecenderungan terbentuknya kerak CaSO₄ akan semakin besar. Pengaruh tersebut dapat terjadi karena kenaikan temperatur air akan menyebabkan adanya penguapan sehingga jumlah dalam air akan berkurang, sehingga berdasarkan reaksi pada (2-2) maka reaksi akan bergeser ke arah kanan dan *scale* kalsium sulfat akan terbentuk (Siswoyo dan Erna, 2005). Fenomena ini dapat digunakan untuk menjelaskan terbentuknya kerak pada formasi sumur-sumur injeksi yang mempunyai tekanan dasar sumur yang cukup tinggi, serta kerak yang terjadi pada dinding tabung alat pemanas.

2.12 Waktu induksi

Waktu induksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh ion dalam larutan untuk bereaksi sehingga membentuk inti kristal yang pertama kali (isopecus *et al.*, 2009). Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal terbentuk, sebaliknya bila semakin besar berarti semakin lama inti kristal terbentuk. Inti kristal selanjutnya menjadi pusat-pusat pertumbuhan kerak sehingga semakin banyak inti yang terjadi akan semakin banyak jumlah kerak yang terbentuk. Ini berarti bahwa bila waktu induksi kecil maka jumlah kerak yang terbentuk akan semakin banyak (Ma'mun dkk, 2013)

Untuk mendapatkan waktu induksi digunakan pendekatan tertentu agar mudah untuk diamati. Pada umumnya waktu induksi didekati dengan melihat nilai

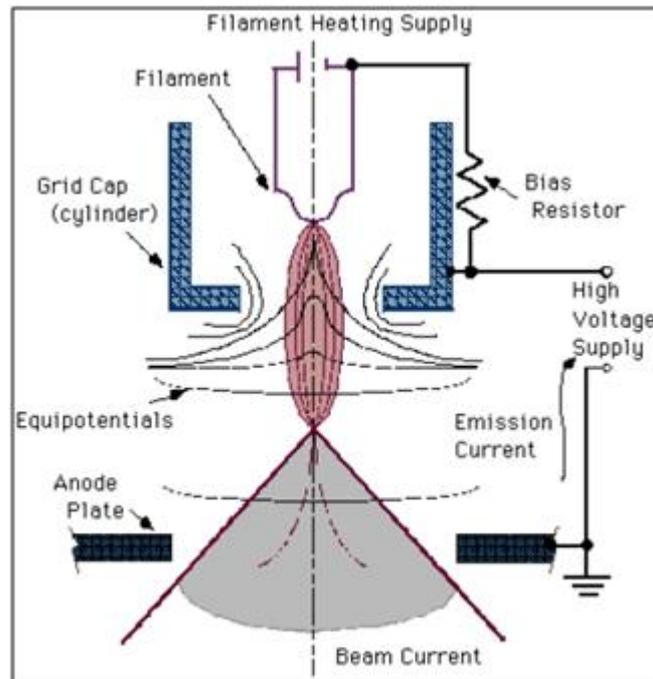
konduktivitas larutan dimana bila terjadi penurunan nilai konduktivitas yang signifikan maka hal ini memberikan isyarat bahwa ion-ion mulai bereaksi membentuk inti kristal. Dari grafik didapatkan waktu induksi yaitu ditandai dengan perubahan garis yang signifikan (Sediono dkk, 2011).

2.13 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 300000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

- a. Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
- b. Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit (IC)* dan *chip*, dan sebagainya).
- c. Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
- d. Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktivitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.



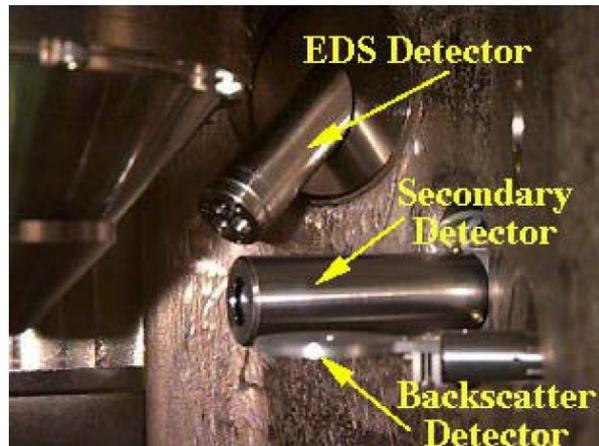
Gambar 2.13 Electron gun

(Sumber : <https://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanning-electron-microscope-sem-dan-optical-emission-spectroscopy-oes/>)

Kemudian *electron beam* difokuskan ke suatu titik pada permukaan sampel dengan menggunakan dua buah *condenser lens*. *Condenser lens* kedua (atau biasa disebut dengan lensa objektif) memfokuskan *beam* dengan diameter yang sangat kecil, yaitu sekitar 10-20 nm. Hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada layar CRT.

SEM memiliki beberapa detektor yang berfungsi untuk menangkap hamburan elektron dan memberikan informasi yang berbeda-beda. Detektor-detektor tersebut antara lain:

- a. Detektor EDX, yang berfungsi untuk menangkap informasi mengenai komposisi sampel pada skala mikro.
- b. *Backscatter detector*, yang berfungsi untuk menangkap informasi mengenai nomor atom dan topografi.
- c. *Secondary detector*, yang berfungsi untuk menangkap informasi mengenai topografi.



Gambar 2.14 Detektor Pada SEM

(Sumber : <http://boymarsaputrapanjaitan.blogspot.co.id/2014>)

Pada SEM, terdapat sistem vakum pada *electron-optical column* dan *sample chamber* yang bertujuan antara lain:

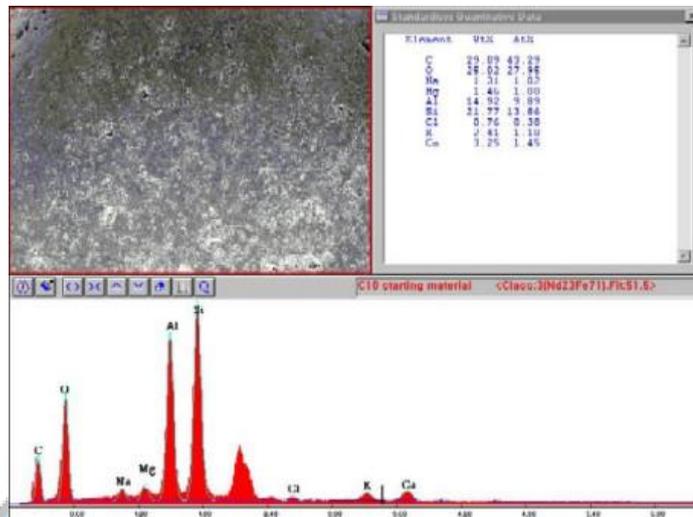
- a. Menghilangkan efek pergerakan elektron yang tidak beraturan karena adanya molekul gas pada lingkungan tersebut, yang dapat mengakibatkan penurunan intensitas dan stabilitas.
- b. Meminimalisasi gas yang dapat bereaksi dengan sampel atau mengendap pada sampel, baik gas yang berasal dari sampel atau pun mikroskop. Karena apabila hal tersebut terjadi, maka akan menurunkan kontras dan membuat gelap detail pada gambar.

Semua sumber elektron membutuhkan lingkungan yang vakum untuk beroperasi.

2.14 Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

Sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini, namun tidak semua SEM punya fitur ini. EDS dihasilkan dari Sinar X karakteristik, yaitu dengan menembakkan sinar X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDS kita juga bisa membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda – beda dari masing – masing elemen di permukaan bahan. EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase

masing – masing elemen. Contoh dari aplikasi EDS digambarkan pada diagram dibawah ini.



Gambar 2.15 Contoh dari aplikasi EDS

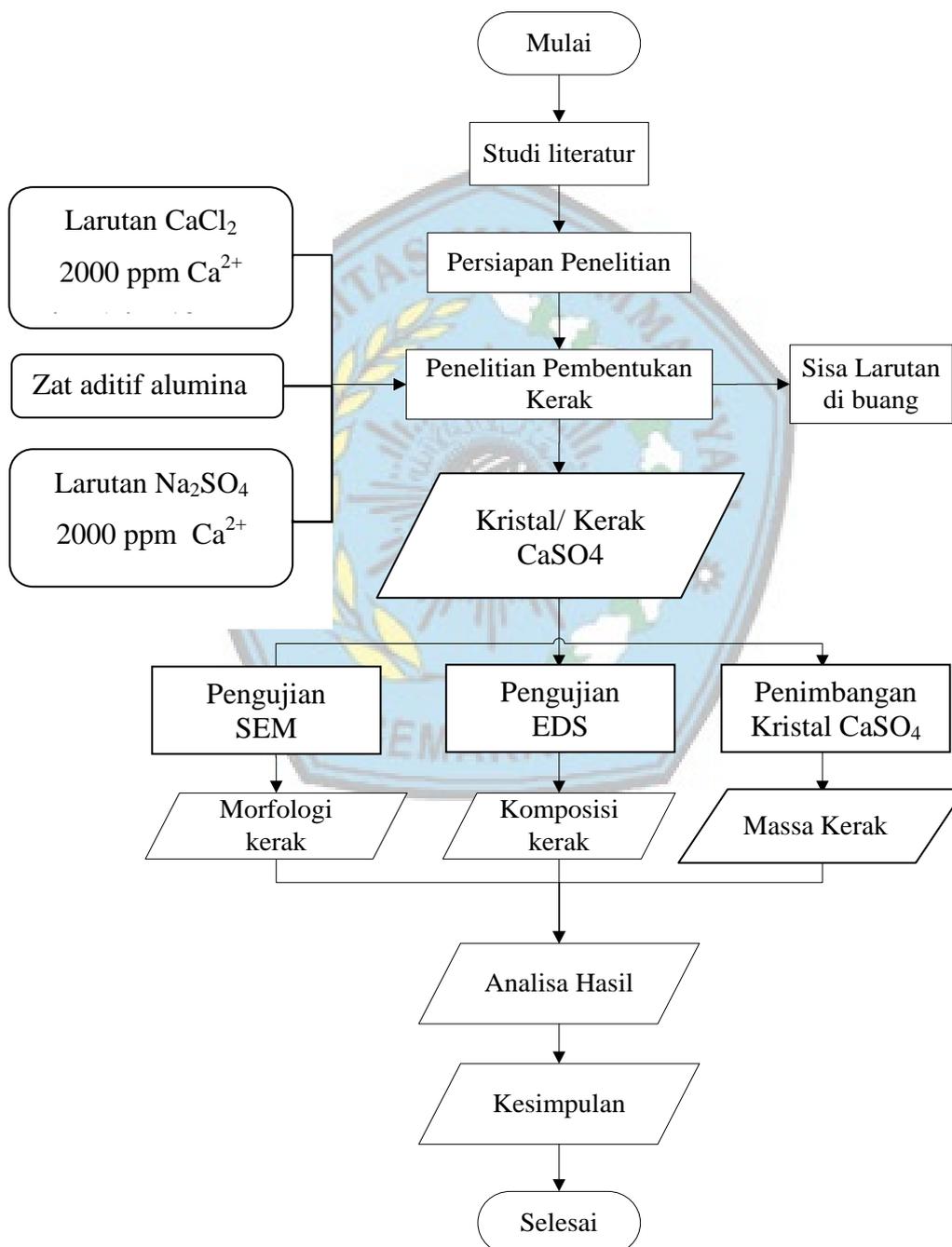
(Sumber : <https://materialcerdas.wordpress.com/teori-dasar/scanning-electron-microscopy/>)



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan bertahap, dimana dapat dilihat dengan diagram alir yang ditunjukkan oleh gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

<http://lib.unimus.ac.id>

Keterangan :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari materi dan teori yang berhubungan dengan penelitian ini dan memudahkan dalam menentukan proses yang akan dilakukan selama penelitian. Materi yang dibutuhkan antara lain teori kerak, teori kristalisasi, uji mikrografi.

2. Persiapan penelitian

Persiapan yang dilakukan adalah pembuatan pipa uji, setting alat eksperimen, pembuatan larutan CaCl_2 , Na_2SO_4 dan zat aditif Al_2O_3 .

3. Penelitian pembentukan kerak

Penelitian ini dilakukan selama 1 jam dengan cara mengalirkan media berupa larutan CaCl_2 , Na_2SO_4 yang ditambahkan zat aditif di dalam pipa dan material uji untuk memperoleh data yang kemudian akan dianalisa.

4. Melakukan pengujian dan perhitungan

Bertujuan untuk memperoleh data pada parameter yang telah ditentukan untuk dianalisis. Proses pengujian dimulai dengan pembuatan benda uji untuk membedakan kelompok pengujian. Material uji yang dimaksud adalah material uji yang digunakan untuk mengetahui karakteristik bahan dengan cara melakukan:

- a. Pengujian SEM + EDS, uji SEM untuk mengetahui ukuran lebar adanya fenomena corrsion erosion dan uji EDS untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam pipa setelah terkena korosi.
- b. Perhitungan massa kerak, untuk mengetahui perubahan massa kerak sesudah ditambahkan zat aditif.
- c. Perhitungan konduktivitas pada larutan.

5. Data dan analisis data

Data hasil dari pengujian SEM + EDS, perhitungan massa kerak, perhitungan waktu induksi dikumpulkan, diolah serta dianalisis berdasarkan dasar teori yang diperoleh dari literatur

6. Kesimpulan dan saran

Menyimpulkan hasil analisis tentang karakteristik bahan serta hasil analisis tentang penyebab patahnya komponen kemudian memberikan saran untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya.

3.2 Tempat Pelaksanaan Penelitian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Thermofluid Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang.

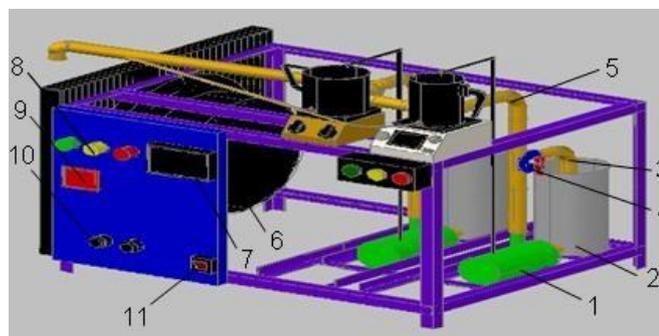
3.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_2SO_4 dengan konsentrasi Ca^{+2} 2000 ppm dan dibuat dengan melarutkan kristal Na_2SO_4 (*Natrium Carbonat*) grade : analitik.
- Larutan CaCl_2 dengan konsentrasi Ca^{+2} 2000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal CaCl_2 (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik.
- Aquades.
- Zat aditif alumina 5 dan 10 ppm.
- Pipa tembaga.

3.4 Alat Uji *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

Desain *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* yang digunakan dirancang untuk dapat beroperasi mendukung memenuhi kebutuhan pelaksanaan penelitian secara akurat pengambilan data. Alat uji ini dirangkai pada suatu rangka yang terbuat dari bahan plat besi. Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Desain prototype Closed Circuit Scale Simulator
(Sumber : Raharjo S, 2016)

Keterangan :

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. Pompa iwaki magnetic | 7. Grafik Panel |
| 2. Bak penampung | 8. Lampu Indikator |
| 3. <i>Bypass</i> | 9. Temperatur Kontrol |
| 4. Kran | 10. Saklar Heater dan Kipas |
| 5. Pipa | 11. Saklar Pompa |
| 6. Kipas | |

3.5 Alat Ukur Yang Digunakan

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Timbangan Digital

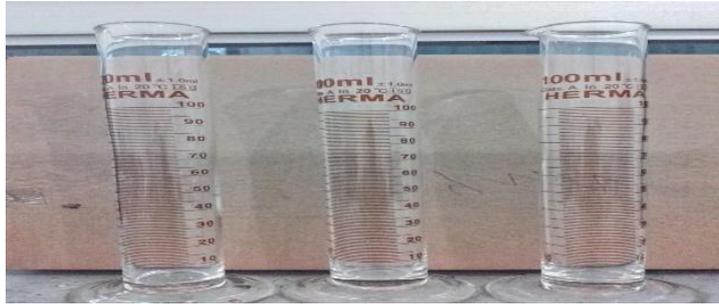
Timbangan digital adalah alat yang dipakai melakukan pengukuran masa suatu benda. Timbangan dalam penelitian ini digunakan atau dipakai untuk menimbang berat kupon pengujian sesuai dengan berat yang sudah ditentukan.



Gambar 3.3 Timbangan Digital
(Sumber : Dokumentasi, 2016)

b. Gelas Ukur

Gelas ukur terbuat dari gelas plastik (*polipropilen*). Gelas ukur dapat digunakan untuk mengukur volume segala benda, baik benda cair maupun benda padat pada berbagai ukuran volume.



Gambar 3.4 Gelas ukur
(Sumber : Dokumentasi, 2016)

c. *Conductivity Meter*

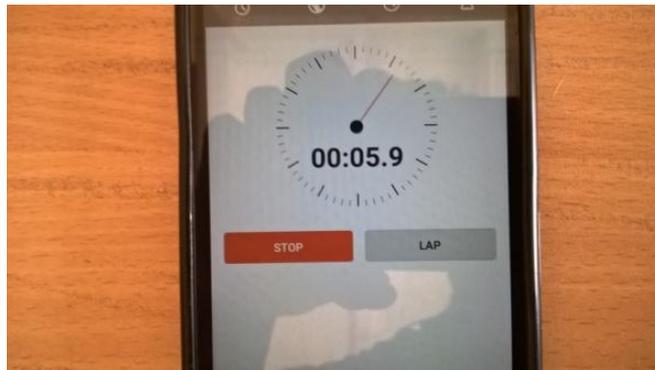
Conductivity meter adalah alat untuk mengukur nilai konduktivitas listrik pada suatu larutan atau cairan. Nilai konduktivitas listrik sebuah zat cair menjadi referensi atas jumlah ion serta konsentrasi padatan (*Total Dissolved Solid*) yang terlarut di dalamnya. Pengukuran jumlah ion di dalam suatu cairan menjadi penting untuk beberapa kasus. Konsentrasi ion di dalam larutan berbanding lurus dengan daya hantar listriknya. Semakin banyak ion mineral yang terlarut, maka akan semakin besar kemampuan larutan tersebut untuk menghantarkan listrik. Sifat kimia inilah yang digunakan sebagai prinsip kerja *conductivity meter*. Keakuratan instrumentasi ini bisa diuji dengan melakukan pengukuran terhadap konduktivitas aquades. Bila *conductivity meter* menunjukkan angka nol pada waktu mengukur konduktivitas aquades maka instrumen ini akurat sebab aquades tidak memilikin ion-ion.



Gambar 3.5 *Conductivity Meter*
(Sumber : Hannainst.com)

d. Stop Watch

Stop watch dalam penelitian ini digunakan sebagai pengukur waktu dalam pengambilan data saat pengujian berlangsung.



Gambar 3.6 Stopwatch
(Sumber : Dokumentasi, 2016)

3.6 Langkah Penelitian

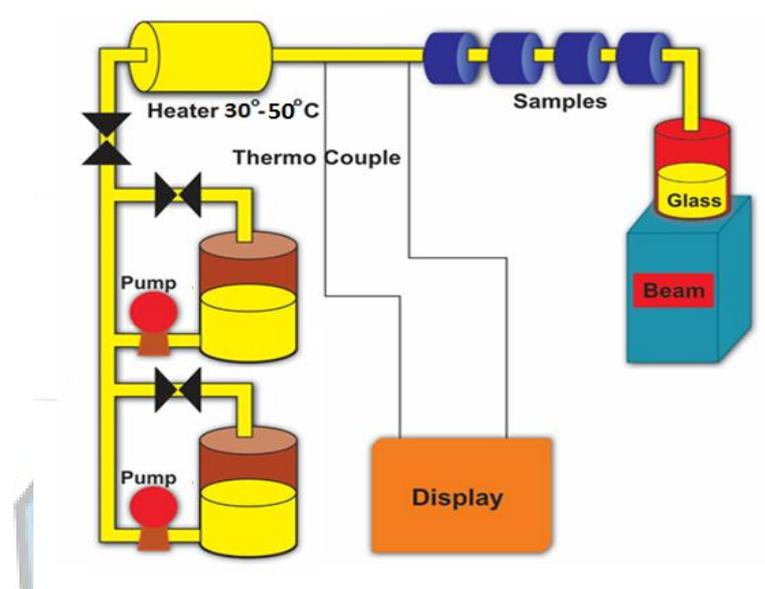
Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pembentukan kerak pada pipa beraliran laminar dengan melalui tahapan tahapan sebagai berikut ini :

3.6.1 Alat Eksperimen Pembentukan Kerak

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang di rancang sendiri oleh peneliti terdahulu. Alat tersebut terdiri dari empat buah bejana yaitu dua bejana dibawah (1,2) dengan kapasitas 6 liter dan dua bejana diatas (3, 4) dengan kapasitas 0,8 liter. Kegunaan bejana tersebut adalah untuk menampung larutan CaCl_2 pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na_2SO_4 pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan CaCl_2 dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_2SO_4 dari bejana 2 ke bejana 4. Permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 dijaga agar keduanya mempunyai ketinggian yang sama dan dapat diatur naik atau turun guna mendapatkan perbedaan ketinggian permukaan dengan pengeluaran akhir dari rumah kupon sehingga dapat digunakan untuk mengatur laju aliran.

Larutan yang berada didalam bejana 3 dan 4 kemudian secara bersamaan dialirkan menuju kupon, selanjutnya larutan tersebut mengalir dan masuk kedalam

bejana penampungan yang kemudian dibuang sebagai limbah. Didalam kupon-kupon larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak CaSO_4 .



Gambar 3.7 Skema *Closed Circuit Scale Simulator*
(Sumber : Raharjo S, 2016)

3.6.2 Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai desain yaitu 30 ml/menit. Pengujian dilakukan dengan cara *trial and error* sebanyak sepuluh kali dengan mengatur harga Δh yaitu selisih ketinggian antara permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 terhadap saluran pembuangan limbah atau pengeluaran aliran pada akhir kupon setelah itu dihitung standar deviasinya. Dengan demikian alat yang dibuat mempunyai laju alir yang stabil 30 ml/menit.

3.6.3 Pembuatan Larutan CaCl_2 , Na_2SO_4

Pembentukan kerak CaSO_4 pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan CaCl_2 dengan Na_2CO_3 dibawah ini



Untuk membuat larutan CaCl_2 dengan Na_2SO_4 pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 2000 ppm Ca^{2+} dengan

laju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 2000 ppm Ca^{2+} .

Cara perhitungan kebutuhan zat dan larutan untuk percobaan dengan laju alir 30 ml/menit.

Waktu percobaan	= 1 jam
Laju alir larutan	= 30 ml/menit
Volume larutan yang dibutuhkan	= 8000 ml
Volume larutan CaCl_2 2000 ppm Ca^{2+}	= 4000 ml
Volume larutan Na_2SO_4 2000 ppm Ca^{2+}	= 4000 ml

Setiap percobaan ada sisa larutan masing - masing ditabung atas sebanyak 8000 ml maka untuk memudahkan pembuatan larutan, kedua jenis larutan tersebut masing-masing disiapkan sebanyak 4000 ml sehingga jumlah larutan yang dibutuhkan adalah :

Volume larutan CaCl_2 yang disiapkan	= 4000 ml
Volume larutan Na_2SO_4 yang disiapkan	= 4000 ml

Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal CaCl_2 dan Na_2SO_3 .

Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 30 ml/menit

Berat molekul (BM) CaCl_2 = 110,98 g/mol

Berat Atom (BA) Ca = 40

Berat molekul (BM) Na_2SO_4 = 142,04 g/mol

2000 ppm Ca^{2+} = 2000 mg/ liter

Untuk volume 4000 ml atau 4 liter, kebutuhan Ca^{2+} adalah

2000 mg/liter x 4 lt = 8.000 mg = 8 gram

Sehingga CaCl_2 yang dibutuhkan adalah

$(110,98 / 40) \times 8$ gram = **22,196 gram**

Mol CaCl_2 : 22,196 / 110,98 = 0,2 mol

Karena equimolar maka kristal Na_2SO_4 yang dibutuhkan adalah

0,2 x 142,04 = **28,408 gram**

Untuk kebutuhan zat aditif Al_2O_3 konsentrasi 5 dan 10 ppm adalah

$(22,196 \times 5) / 2000$ = **0,06 gram**

$$(22,196 \times 10) / 2000 = \mathbf{0,11 \text{ gram}}$$

Dari hasil perhitungan seluruhnya dapat dimasukkan dalam tabel sehingga mudah untuk dijadikan pedoman pada saat pembuatan larutan. Setelah semua perhitungan yang diperlukan untuk pembuatan larutan selesai maka dilanjutkan untuk persiapan pembuatan larutan tersebut. Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam pembuatan larutan adalah *aquades*, kristal CaCl_2 , kristal Na_2SO_4 , zat aditif alumina, timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring. Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang kristal CaCl_2 dan kristal Na_2SO_4 sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal CaCl_2 ke dalam bejana kemudian diaduk dan dilanjutkan lagi dengan memasukkan *aquades* ke dalam bejana hingga volumenya mencapai empat liter dan diaduk lagi sampai merata. Setelah larutan tercampur merata maka dilakukan penyaringan dengan kertas saring $0,22 \mu\text{m}$. Sebelum digunakan larutan disimpan dalam bejana tertutup agar terhindar dari debu.

Pembuatan larutan Na_2SO_4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pembuatan larutan CaCl_2 sedangkan untuk pembuatan zat aditif dilakukan dengan cara menimbang kristal Al_2O_3 sesuai dengan hasil perhitungan. Pembentukan kalsium Sulfat: $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{NaCl}$. Untuk membuat larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 , dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 ml/menit.

3.6.4 Pembuatan Pipa Uji

Jenis kupon yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis kupon yang terbuat dari pipa kuningan (*seamless brass tube*) dengan kadar tembaga antara 60-90%. Kupon adalah komponen yang dipasang pada sistem aliran yang diharapkan disitulah akan terjadi pengendapan kerak kalsium sulfat.



Gambar 3.8 Kupon
(Sumber : Dokumentasi, 2016)

Setelah Pipa dipotong dengan panjang 31 mm dengan diameter luar 20 mm dan diameter dalam 13 mm. kemudian kupon di *flaring* untuk mengembangkan ujung pipa agar dapat dipasang dirumah kupon. Penimbangan dilakukan untuk mengetahui berat pipa yang akan digunakan dengan berat yang sudah ditentukan.



Gambar 3.9 Pengamplasan Sampel Pengujian
(Sumber : Dokumentasi, 2016)

Jumlah kupon ada empat dipasang dari bawah ke atas masuk ke rumah kupon. dimensi kupon adalah; panjang 31 mm diameter luar 20 mm dan diameter dalam 13 mm. Sebelum dipasang pada rumahnya terlebih dahulu kupon dipoles hingga permukaan bagian dalam menjadi kasar dan di ukur kekasarannya. Selanjutnya dicelupkan ke dalam cairan HCl selama 3 menit kemudian dibilas

dengan air bersih dan terakhir dibilas dengan aquades. Setelah itu dikeringkan memakai hairdryer, dengan demikian kupon siap dipasang pada rumah kupon.

3.7 Pengambilan Data

Pengambilan data (percobaan) dilakukan dengan variasi penambahan zat additive alumina (5 ppm dan 10 ppm). Larutan Na_2SO_4 dan CaCl_2 masing-masing sebanyak empat liter dimasukkan masing-masing ke dalam bejana 1 dan bejana 2. Setelah itu pompa dihidupkan dan larutan naik mengisi sampai batas atas bejana 3 dan bejana 4, kemudian pompa dimatikan. Beberapa saat kemudian pompa dihidupkan kembali dan larutan mulai mengisi kupon, dengan demikian percobaan telah dimulai.

3.8 Pengukuran Konduktivitas larutan

Pencatatan waktu pada saat yang sama juga diaktifkan dimana setiap dua menit sekali perlu dilakukan pengukuran terhadap konduktivitas larutan. Untuk melakukan pengukuran konduktivitas larutan, larutan yang keluar dari kupon ditampung pada bejana kecil yang terbuat dari plastik dan sesegera mungkin *electroda conductivitymeter* dimasukkan.

Conductivitymeter akan mengukur nilai konduktivitas larutan (pembacaan digital mulai berjalan dari nol kemudian naik sampai akhirnya berhenti). Angka yang terakhir inilah yang dicatat, dan seterusnya dilakukan berulang-ulang setiap dua menit. Setelah satu jam, pompa dihentikan dan saluran menuju kupon dilepas. Satu jam kemudian kupon diambil dari rumah kupon dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama dua belas jam. Penimbangan massa kerak dilakukan pada waktu kerak masih menempel pada kupon. Selanjutnya selisih massa kupon dengan kerak dikurangi massa kupon tanpa kerak adalah massa kerak itu sendiri.

3.9 Prosedur pengujian

Agar pengujian dapat berjalan dengan lancar maka dibuatlah suatu prosedur pengujian :

1. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan.
2. Mengisi bak pengampung dengan larutan CaCl_2 .

3. Mengisi bak pengampung dengan larutan Na_2SO_4 .
4. Pemasangan sampel ke rumah-rumah sampel.
5. Hubungkan stop kontak alat uji dengan sumber tegangan.
6. Tekan sakelar pompa ke posisi *ON*, jika lampu indikator kuning menyala berarti pompa sudah beroperasi.
7. Putar keran untuk mengatur laju aliran.
8. Tekan sakelar heater dan kipas pendingin ke posisi *ON*, jika lampu indikator merah dan biru menyala berarti heater dan kipas pendingin sudah beroperasi.
9. Lakukan pengambilan data dengan mengukur konduktivitas larutan.
10. Tekan sakelar ke posisi *OFF* dan lepas stop kontak dari sumber tegangan.

Ini sekaligus mengakhiri prosedur pengujian.

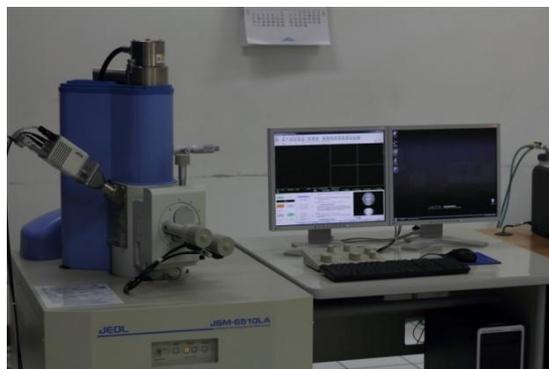
Dan terakhir dilakukan pelepasan sampel pengujian.

3.10 Pengujian SEM dan *Microanalyzer* (EDS)

Pengujian SEM dan *Microanalyzer* (EDS) bisa dilakukan pada instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM+EDS yang dilakukan di Laboratorium Terpadu Undip Semarang. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian EDS bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal.

3.10.1 Peralatan Pengujian

Alat pengujian SEM + EDS menggunakan mesin SEM JEOL JSM-6510A dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Mesin SEM JEOL JSM-6510A
(Sumber : sem.fmipa.itb.ac.id)

<http://lib.unimus.ac.id>

Untuk spesifikasi dan tipe dari alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS) dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin SEM JEOL-JSM-6510LA

Type	JEOL-JSM-6510LA
Resolution	High Vacuum mode: 3.0 nm (30kV) Low Vacuum mode: 4.0 nm (30kV)
Accelerating voltage	0.5 to 30 kV
Magnification	x5 to 300,000 (printed as a 128mm x 96mm micrograph)
Filament	Pre-centered W hairpin filament (with continuous auto bias)
Objective lens	Super conical lens
Objective lens apertures	Three position, controllable in X/Y directions
Maximum specimen size:	
GS Type stage	32mm full coverage
LGS Type stage	125mm dia. full coverage (152.4mm dia. loadable)
Specimen stage:	
GS Type stage	Eucentric goniometer X=20mm, Y=10mm, Z=5mm-48mm R=360° (endless) Tilt -10/+90°
LGS Type stage	Eucentric goniometer X=80mm, Y=40mm, Z=5mm-48mm R=360° (endless) Tilt -10/+90° (Computer controlled 2, 3 or 5 axis motor drive: option)

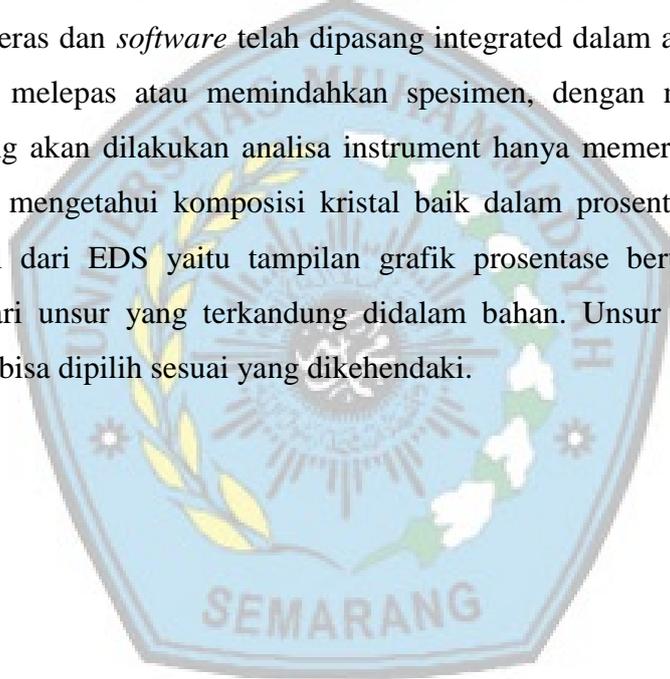
3.10.2 Prosedur Pengujian

Pada pengujian ini yang dilakukan terdahulu adalah langkah persiapan yaitu pemberian nomor pada spesimen dan pelapisan spesimen dengan AuPd (*Aurum Paladium*). Pada proses ini spesimen diletakkan pada dudukan sesuai dengan nomor identifikasi dan selanjutnya dimasukkan kedalam mesin *Sputter Coater*. Setelah spesimen dimasukkan kedalam tabung kaca pada *Sputter Coater* dilakukan penghisapan udara yang berada dalam ruang kaca sehingga udara di dalam tabung habis dan dilanjutkan dengan pengisian gas argon kedalam tabung

kaca. Setelah itu barulah dilakukan *Coating* AuPd terhadap spesimen di dalam tersebut.

Langkah berikutnya spesimen dimasukkan ke dalam SEM sesuai dengan nomor identifikasi pengambilan fokus. Selanjutnya dilakukan penghisapan udara pada alat tersebut sehingga terjadi kevakuman, Kemudian dilakukan pengambilan gambar, pengaturan resolusi dan ukuran pembesaran dikendalikan melalui *software* yang secara langsung terbaca pada monitor SEM.

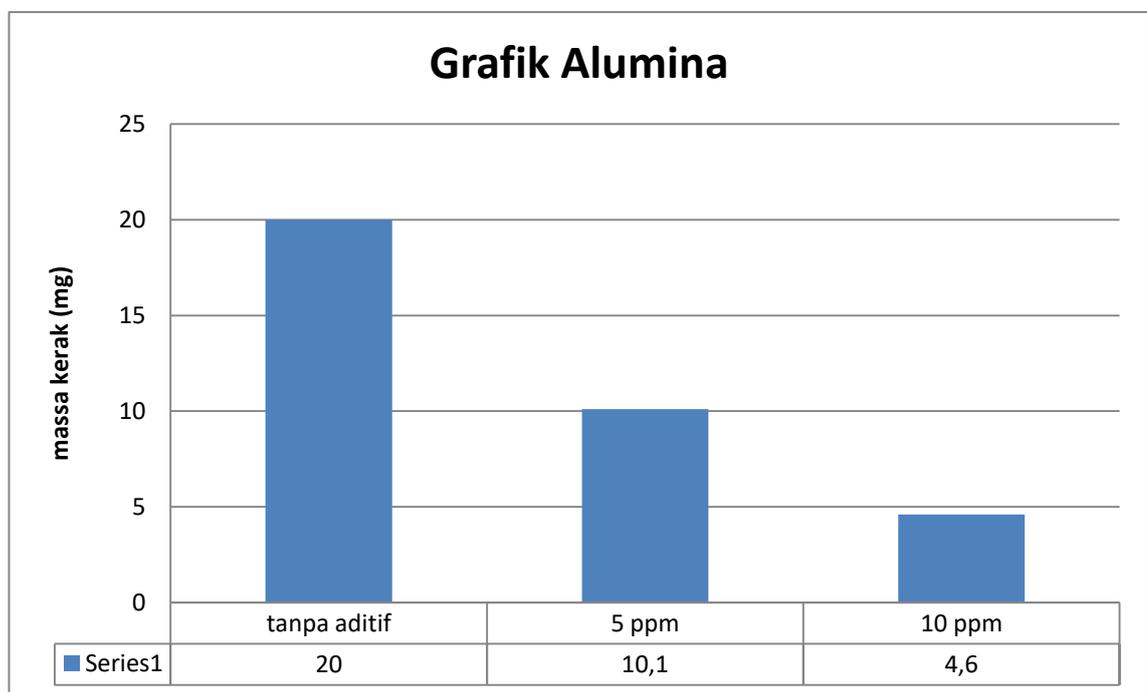
Setelah mendapatkan hasil pengujian SEM seperti yang diharapkan maka dilanjutkan untuk mengkaji struktur mikro dengan menggunakan alat EDS dimana perangkat keras dan *software* telah dipasang integrated dalam alat SEM sehingga tidak perlu melepas atau memindahkan spesimen, dengan mengambil luasan tertentu yang akan dilakukan analisa instrument hanya memerlukan waktu yang lama untuk mengetahui komposisi kristal baik dalam prosentase berat maupun atom. Hasil dari EDS yaitu tampilan grafik prosentase berupa (mass%) dan (atom%) dari unsur yang terkandung didalam bahan. Unsur yang ditampilkan pada grafik bisa dipilih sesuai yang dikehendaki.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Aditif Alumina Terhadap Massa Kerak

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh konsentrasi terhadap pembentukan massa kerak kalsium sulfat dengan variasi aditif alumina 5 dan 10 ppm. Pengaruh konsentrasi terhadap massa kerak kalsium sulfat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Variasi 5 dan 10 Ppm Aditif Alumina Dengan Massa Kerak Kalsium Sulfat

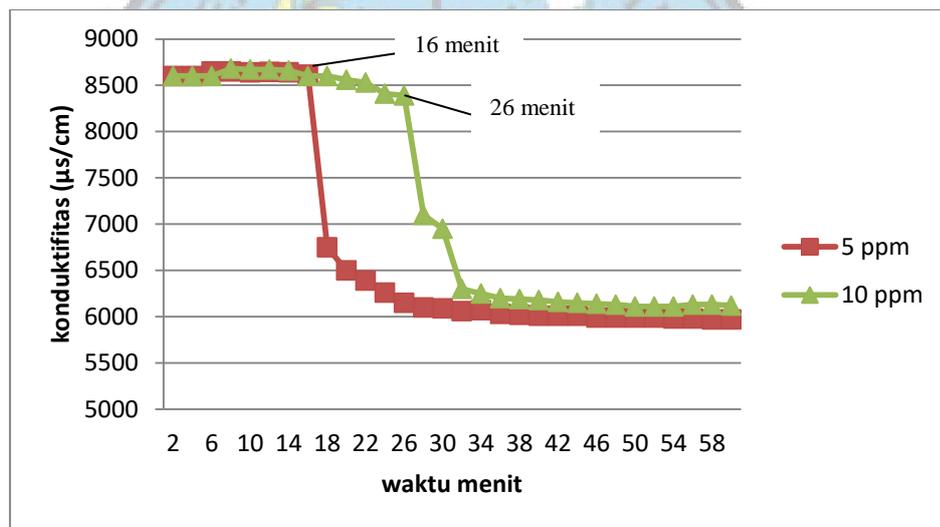
Pada Gambar 4.1, menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi aditif alumina akan mengurangi pembentukan kerak kalsium sulfat sehingga massa kerak yang dihasilkan menjadi lebih sedikit. Hal ini sesuai dengan dengan penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa penambahan aditif akan menurunkan massa kerak (Ang HM, dkk 2010).

Penambahan aditif 5 ppm menurunkan massa kerak menjadi 10,1 mg atau turun sebesar 49,5 persen. Sedangkan penambahan aditif 10 ppm menurunkan massa kerak menjadi 4,6 mg atau turun 77 persen. Dengan demikian dapat

disimpulkan bahwa penambahan aditif 5 ppm reaksi antara reaktan CaCl_2 dan Na_2SO_4 berjalan lebih cepat dibanding pada aditif 10 ppm. Semakin tinggi konsentrasi reaktan dalam suatu reaksi, tumbukan antara molekul reaktan CaCl_2 dan Na_2SO_4 akan semakin banyak, sehingga kecepatan reaksi akan meningkat.

4.2 Pengaruh Aditif Alumina Terhadap Waktu Induksi

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh senyawa kalsium sulfat untuk membentuk inti kristal pertama kali. Waktu induksi ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion kalsium telah bereaksi dengan ion sulfat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk konsentrasi 2000 ppm dan 5 ppm aditif dan 2000 ppm dan 10 ppm aditif masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.

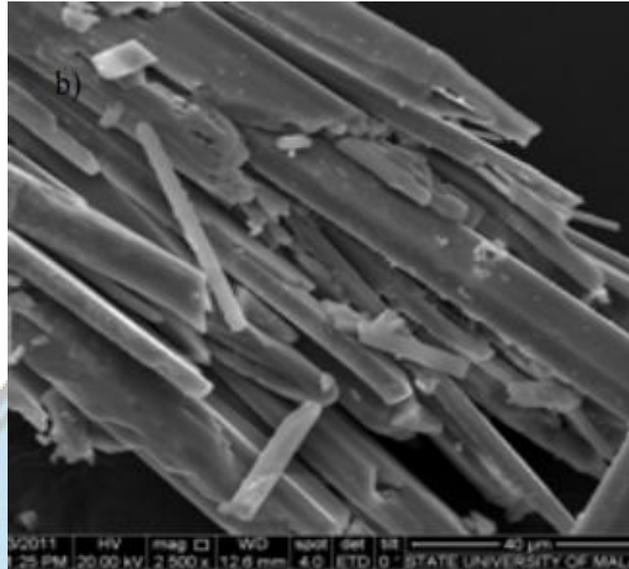


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Konduktivitas Dengan Waktu

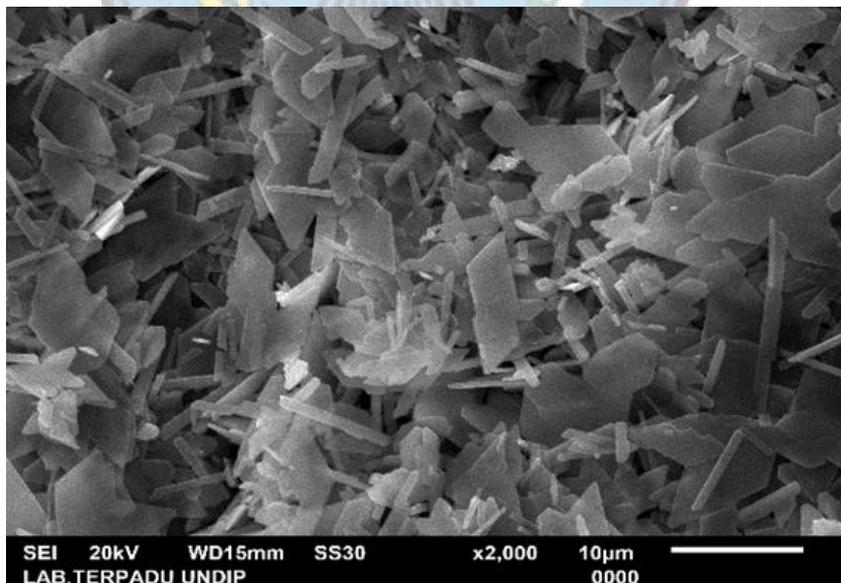
Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian pada variasi konsentrasi larutan Ca^{2+} . Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi untuk tambahan aditif ppm 5 adalah 16 menit dengan nilai konduktivitas 6610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sedangkan pada konsentrasi 2000 ppm 10 ppm memiliki waktu induksi 26 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 7480 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.3 Pengujian SEM

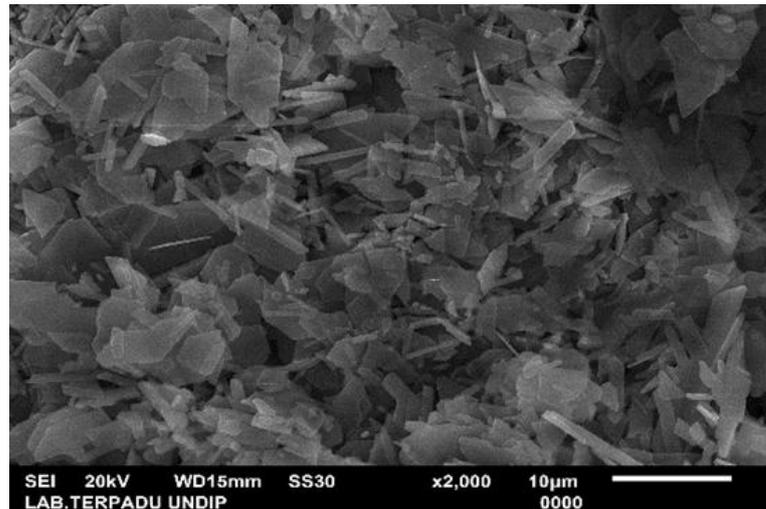
Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal. Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Morfologi Kerak Kalsium Sulfat Tanpa Zat Aditif Alumina



Gambar 4.4 Morfologi Kerak Kalsium Sulfat Dengan Penambahan Zat Aditif Alumina 5 ppm



Gambar 4.5 Morfologi Kerak Kalsium Sulfat Dengan Penambahan Zat Aditif Alumina 10 ppm

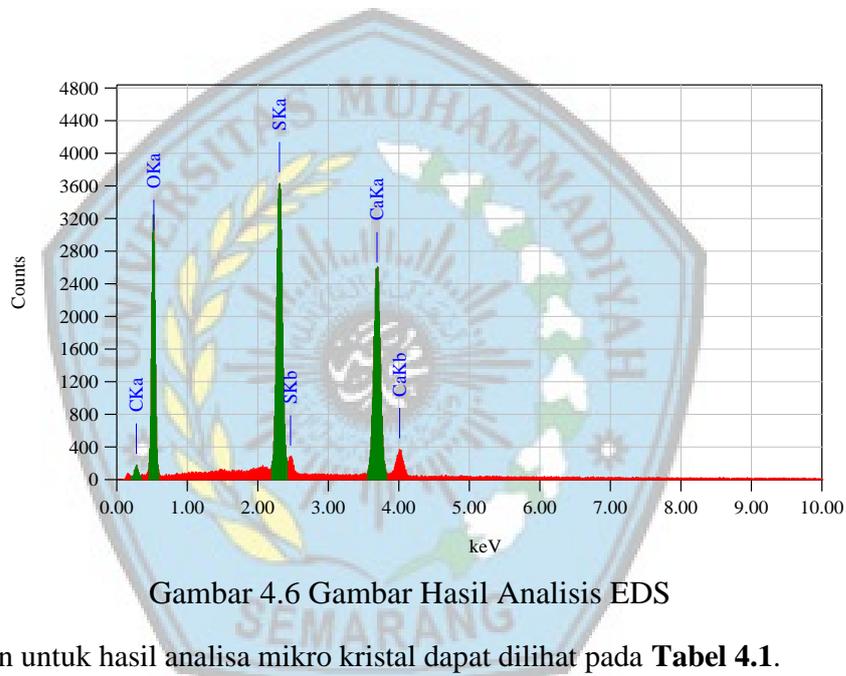
Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada gambar diatas. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan CaSO_4 2000 ppm dengan penambahan zat aditif asam sitrat. **Gambar 4.3**, merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi dengan konsentrasi 2000 ppm dan tanpa zat aditif pada penelitian sebelumnya (Bayu, 2016). Pada gambar tersebut terlihat bahwa jenis kristal yang terbentuk adalah fasa gipsum, gipsum memiliki bentuk seperti jarum. **Gambar 4.4**, merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi dengan konsentrasi 2000 ppm dan aditif 5 ppm. Pada gambar tersebut terlihat bahwa jenis kristal yang terbentuk adalah fasa gipsum, gipsum memiliki bentuk lempengan/plat besar. **Gambar 4.5**, merupakan hasil uji kristalisasi 2000 ppm dan aditif 10 ppm, pada gambar tersebut terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah gipsum dengan lempeng lebih terlihat kecil. Fase gipsum kerak kalsium sulfat memiliki bentuk kristal *monoklin*.

Dari hasil uji SEM tersebut menandakan bahwa konsentrasi yang lebih besar mampu meningkatkan pembentukan fasa gypsum yang merupakan jenis fasa *hardscale*. Apabila kristal ini terbentuk dan mengendap di dalam pipa maka akan menghasilkan kerak yang sulit untuk dibersihkan dari suatu sistem perpipaan. Jenis kristal selain kalsium sulfat yaitu bassanite, merupakan jenis

softscale yang lebih mudah dibersihkan apabila menempel pada dinding dalam pipa (Holysz dkk, 2007).

4.4 Pengujian EDS

Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*). Hasil Pengujian EDS hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.6 Gambar Hasil Analisis EDS

Sedangkan untuk hasil analisa mikro kristal dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Hasil analisa mikro kristal kalsium sulfat

Element	Wt %	At%
C K	16.46	53.03
O K	40.06	
S K	20.68	24.05
Ca K	22.80	22.01

Hasil analisa mikro meliputi komposisi atom pembentuk kristal yang dinyatakan dalam persen atom. Prosentase diatas bila dibandingkan dengan hitungan secara teoritis ternyata mempunyai perbedaan.

Menurut perhitungan teoritis dipresentasikan berat kadar unsur adalah sebagai berikut :

1. Untuk kadar Ca pada CaSO_4 seharusnya adalah $40/100 \times 100\% = 40$ wt% sedangkan hasil analisa mikro kandungan Ca = 22,80% sehingga mempunyai selisih 10,2%.
2. Untuk kadar carbon (C) seharusnya $12/100 \times 100\% = 12$ wt% sedangkan hasil analisa mikro 18,10% wt sehingga mempunyai selisi 6,1%.
3. Untuk kadar oksigen seharusnya $64/100 \times 100\% = 64$ wt% sedangkan hasil analisa mikro menunjukkan 40,06 wt% sehingga mempunyai selisih 23,94 wt%.
4. Untuk Kadar Sulfur (S) seharusnya $32/100 \times 100\% = 32$ wt% sedangkan hasil analisa mikro menunjukkan 20.68 wt% sehingga memiliki selisih 11.32 wt%.

Unsur Karbon C dipastikan berasal dari lemak akibat penanganan dan uap oli pompa yang mungkin adanya *fine leakage* masuk kedalam kolom dalam jumlah yang sangat kecil. Perbedaan hasil analisa mikro ini di akibatkan oleh beberapa sebab yaitu :

1. Adanya penambahan zat aditif alumina kedalam larutan sehingga proporsi CaSO_4 mengalami perubahan.
2. Adanya kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh komposisi kristal.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil penelitian menunjukkan pada konsentrasi zat aditif 5 ppm menurunkan massa kerak sebesar 49,5 persen, sedangkan untuk konsentrasi 10 ppm menurunkan massa kerak sebesar 77 persen.
2. Waktu induksi akan semakin lama. Waktu induksi untuk penambahan aditif 5 ppm adalah 16 menit dengan nilai konduktivitas 6610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sedangkan pada 10 ppm aditif memiliki waktu induksi 26 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 7480 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
3. Dari hasil SEM terlihat perbedaannya adalah bentuk kepingan kepingan kecil untuk aditif 5 ppm sedangkan untuk aditif 10 ppm membentuk lempengan yang lebih besar dan tidak beraturan.
4. Dari hasil uji EDS diketahui unsur-unsur pembentuk kerak CaSO_4 . Dan hasil EDS tersebut memiliki kesamaan bila dibandingkan dengan EDS penelitian CaSO_4 sebelumnya.

5.2 Saran

1. Penelitian kerak CaSO_4 dapat dilakukan kembali dengan alat penelitian yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), penggunaan aditif yang berbeda (PMA, PCA, HEDP, dll atau dengan ion Mg, Cu, dll), dengan jenis aliran turbulen, dll.
2. Penelitian untuk jenis kerak yang lain (seperti kerak barium sulfat, strontium sulfat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnawati (2001). *Pengaruh temperatur terhadap reaksi fosfonat dalam inhibitor kerak pada sumur minyak*. Jurnal Ilmu Dasar, Vol.2. No.1, Hal.20-26.
- Febrianto, B (2016). *Analisa pembentukan kristal $CaSO_4$ pada konsentrasi larutan 2000 ppm Ca^{++} ($CaCl_2 + Na_2SO_4$) dengan variasi temperatur $30^{\circ}C$ dan $40^{\circ}C$ dengan laju aliran 30 ml/menit*. Laporan TA(45)
- Kiaei, Z. and Haghtalab, A. (2014). *Experimental Study of Using Ca-DTPMP Nanoparticles in Inhibition of $CaCO_3$ Scaling in a Bulk Water Process*. Desalination, 338, 84-92.
- Martinod, A., Euvrard, M., Foissy, A., Neville, A. (2007), *Progressing the understanding of chemical inhibition of mineral scale by green inhibitors*, Desalination, 220, 345-352.
- Muryanto, S., Bayuseno, A.P., Sediono, W., Mangestiyono, W. (2012). *Development of a versatile laboratory project for skala formation and control*. Education for Chemical Engineers, 7, 78-84.
- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Ma'mun, H., Usamah, M. (2014). *Calcium carbonate scale formation in pipes: effect of flow rates, temperature, and malic acid as additives on the mass and morphology of the scale*. Procedia Chemistry, 9, 69-76.
- Ratna, P. S. (2011), *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Reddy, M.M., Hoch, A.R. (2001). *Calcite crystal growth rate inhibition by polycarboxylic acids*. Journal of Colloid and Interface Science, 235(2), pp.365-370.
- Saksono, N., Mubarak, M. H., Widaningrum, R., Bismo, S. (2007). *Pengaruh Medan Magnet terhadap Konduktivitas Larutan Na_2CO_3 dan $CaCl_2$ serta Presipitasi dan Morfologi Partikel $CaCO_3$ pada Sistem Fluida Statis*. Jurnal Teknologi, 318-323.
- Samsudi R., Muryanto, S., Jamari J., Bayuseno, A. P. (2016). *Model Dan Optimasi Variable Suhu, Konsentrasi, Asam Sulfat Pada Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat*. ISAER Vol. 11 No. 15.
- Samsudi R., Muryanto, S., Jamari J., Bayuseno, A. P. (2016). *Pembentukan Kerak $CaCO_3$ Pada Pipa Beraliran Laminer*. Matech Web converence.
- Sediono, W., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2011). *Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum Dengan Konsentrasi Ca^{2+} : 3500 Ppm Dan Aditif Fe^{2+}* . Momentum, 7(2).

- Setta, F. A., Neville, A. (2011). *Efficiency assessment of inhibitors on CaSO₄ precipitation kinetics in the bulk and deposition on a stainless steel surface (316L)*. Desalination, 281, 340-347.
- Sousa, M.F., Bertran, C.A. (2014). *New methodology based on static light scattering measurements for evaluation of inhibitors for in bulk crystallization*. Journal of Colloid and Interface Science. Pp.57-64.
- Singh, N.B., Middendorf, B. (2007), *Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization*, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 53, 57 -77.
- Siswoyo, Erna, K. (2005), *Identifikasi Pembentukan Scale*, Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Mineral, UPN Veteran Yogyakarta.
- Suharso, Buhani (2011). *Efek Penambahan Aditif Golongan Karboksilat Dalam Menghambat Laju Pembentukan Endapan Kalsium Sulfat*. Jurnal Natur Indonesia 13(2), 100-104
- Sutrisno, Muryanto, S., Bayuseno, A.P. (2012). *Pengaruh Temperature Terhadap Pembentukan Kerak Gypsum Dalam Pipa*. Gema Teknologi Vol. 16 No. 4.
- Tijing, L.D., Lee, D.H., Kim, D.W., Cho, Y.I., Kim, C.S. (2011). *Effect of high-frequency electric fields on calcium carbonate scaling*. Desalination, 279, 47-53.
- Wang, Y., Moo, Y. X., Chen, C., Gunawan, P., & Xu, R. (2010). *Fast precipitation of uniform CaSO₄ nanospheres and their transformation to hollow hydroxyapatite nanospheres*. Journal of colloid and interface science, 352(2), 393-400.
- Wu, Z., Davidson, J.H., Francis, L.F. (2010). Effect of water chemistry on calcium carbonate deposition on metal and polymer surfaces. *Journal of colloid and interface science*, 343(1), 176-187.
- Tang, Y., Zhang, F., Cao, Z., Jing, W., Chen, Y. (2012). *Crystallization of CaCO₃ in the presence of sulfate and additives: Experimental and molecular dynamics simulation studies*. Journal of colloid and interface science, 377, 430-437.

LAMPIRAN

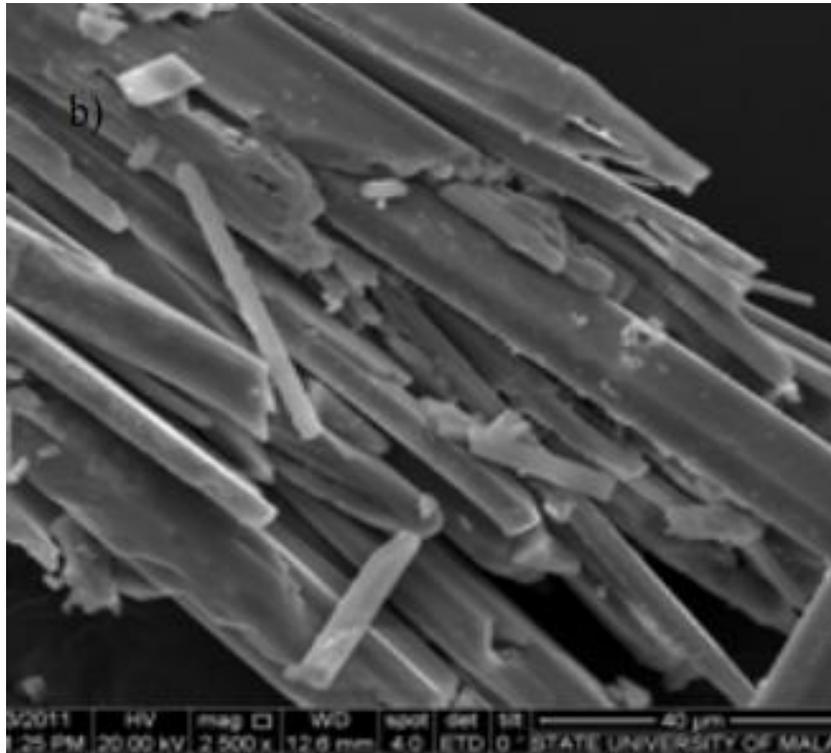
Hasil Pengerakan



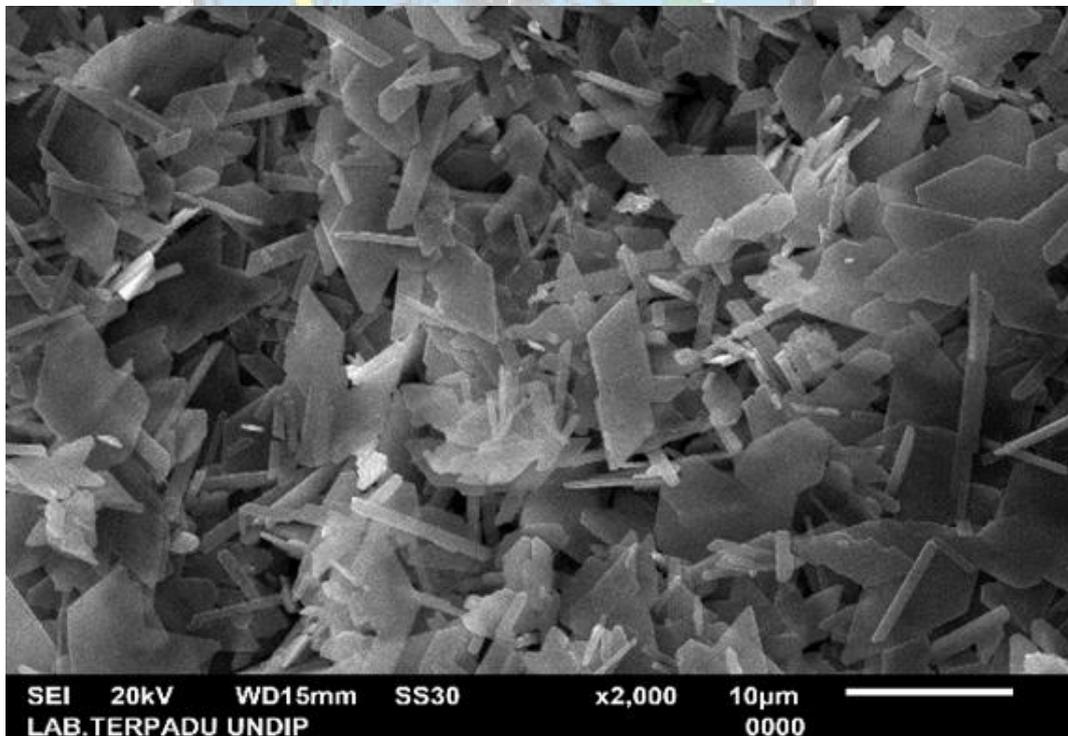
Hasil Konduktivitas Larutan CaSO₄

menit	5 ppm	10 ppm
2	8600	8600
4	8600	8600
6	8650	8600
8	8650	8680
10	8640	8670
12	8645	8670
14	8540	8660
16	8615	8600
18	6750	8600
20	6500	8560
22	6390	8530
24	6260	8410
26	6150	8390
28	6100	7100
30	6090	6950
32	6060	6300
34	6070	6250
36	6030	6200
38	6020	6190
40	6010	6180
42	6010	6160
44	6010	6150
46	5990	6140
48	5990	6130
50	5990	6110
52	5990	6110
54	5980	6110
56	5980	6130
58	5970	6130
60	5970	6120

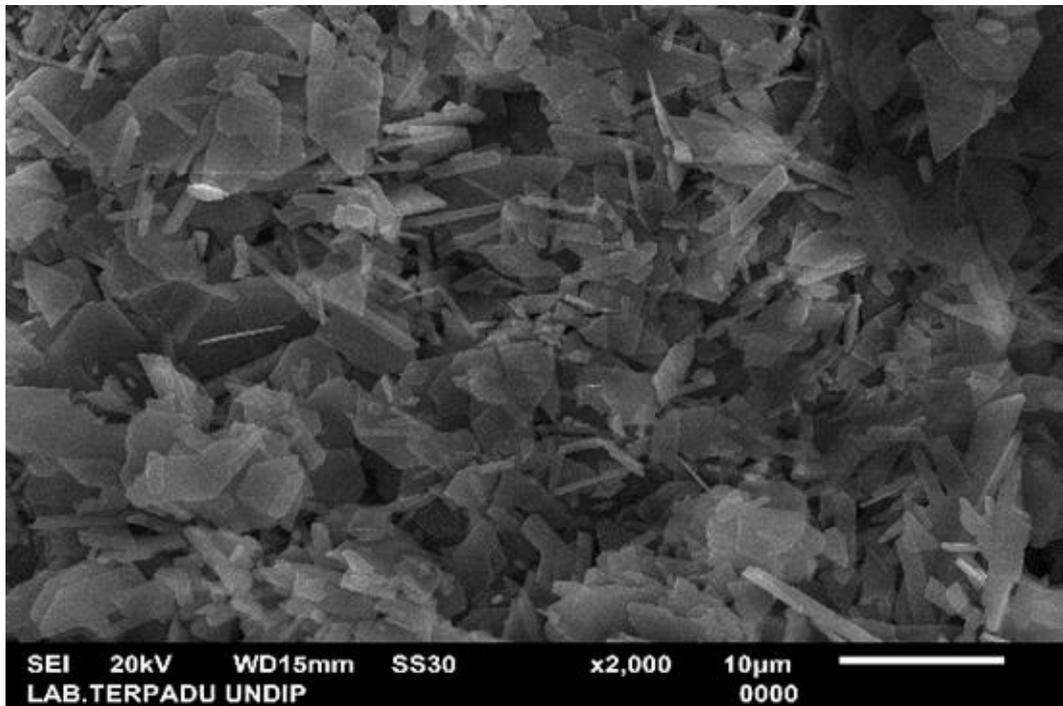
Hasil uji SEM tanpa aditif



Hasil uji SEM aditif 5 ppm



Hasil uji SEM aditif 10 ppm



Hasil uji EDS

