

**PEMBENTUKAN KERAK  $\text{CaSO}_4$  PADA  
SIMULATOR PEMBENTUK KERAK DENGAN  
KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  1500 ppm DAN 2500 ppm  
PADA LAJU ALIR 30 mL/min.**



**TUGAS AKHIR**

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

Di susun oleh :

**TRI WIWIT NUR AMBAR SUSANTO**

**C2A011017**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG  
2016**

## ABSTRAK

### PEMBENTUKAN KERAK $\text{CaSO}_4$ PADA SIMULATOR PEMBENTUK KERAK DENGAN KONSENTRASI $\text{Ca}^{2+}$ 1500 ppm DAN 2500 ppm PADA LAJU ALIR 30 mL/min

Di susun oleh :

Tri Wiwit Nur Ambar Susanto

C2A011017

Abstrak

Pengerakan pada pipa adalah suatu proses terbentuknya endapan yang terjadi dalam kondisi alami pada suatu pipa aliran air dengan keadaan temperature , kecepatan dan konsentrasi. Kalsium sulfat  $\text{CaSO}_4$  adalah salah satu jenis kerak yang banyak di jumpai. Akibat adanya pengerakan dapat menimbulkan banyak kerugian di pabrik. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui seberapa besar pembentukan kerak. Penelitian pembentukan kerak kalsium sulfat dilakukan pada alat simulator skala laboratorium dengan konsentrasi 1500 ppm menghasilkan massa kerak  $\text{CaSO}_4$  sebesar 52,6 mg, waktu induksi 30 menit dan nilai konduktivitas sebesar 8150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sedangkan pada konsentrasi 2500 ppm menghasilkan massa kerak  $\text{CaSO}_4$  102,8 gram, waktu induksi 16 menit dan nilai konduktivitas 8600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nilai waktu induksi pada konsentrasi 1500 ppm yang lebih rendah daripada konsentrasi 2500 ppm mengakibatkan proses pembentukan inti kristal pada konsentrasi 2500 ppm lebih cepat dibandingkan 1500 ppm. Untuk mengetahui morfologi kerak dilakukan dengan pengujian SEM. Sedangkan untuk mengetahui komposisi kimia menggunakan EDS.

**Kata Kunci :** Kerak  $\text{CaSO}_4$ , Waktu Induksi, SEM.

## *ABSTRACT*

### **THE FORMATION OF A SCALE $\text{CaSO}_4$ ON THAT SIMULATOR IN THE FORM OF A SCALE BY CONCENTRATION OF THE $\text{Ca}^{2+}$ 1500 ppm AND 2500 ppm THE FLOW RATE OF 30 mL / min**

In Stacks By :  
Tri Wiwit Nur Ambar Susanto

C2A011017

*Abstract*

Scaling to the pipe is a process the formation of a precipitate occurring in the natural condition at a pipe the flow of water to the state of temperature, speed and concentration. Calcium sulphate  $\text{CaSO}_4$  is one of a typee of crust many find. The results of these scaling could cause amount of losses in a factory .The purpose of research is to know how the mass scale formation. Research the formation of a scale calcium sulphate performed on simulation scale the laboratory by concentration 1500 ppm produce mass scale  $\text{CaSO}_4$  of 52.6 mg, induction time 30 minutes and value conductivity of 8150  $\mu\text{S} / \text{cm}$ . While in concentration 2500 ppm produce mass scale  $\text{CaSO}_4$  102,8 grams, induction time 16 minutes and value conductivity 8600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . The value induction in concentration 1500 ppm lower than concentration 2500 ppm resulted in the process of the formation of the nucleus crystalline on concentration 2500 ppm faster than 1500 ppm. To know morphology crust done by testing SEM .While to know chemical composition use EDS.

**Keywords:** Scale  $\text{CaSO}_4$ , time induction , SEM.

**PEMBENTUKAN KERAK CaSO<sub>4</sub>  
PADA SIMULATOR PEMBENTUK KERAK DENGAN  
KONSENTRASI Ca<sup>2+</sup> 1500 ppm DAN 2500 ppm PADA LAJU  
ALIR 30 mL/min**

Disusun :

**Tri Wiwit Nur Ambar Susanto  
C2A011017**

Program Studi S1 Teknik Mesin  
Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

Menyetujui :

Tim Pembimbing

Tanggal.....

Ka. Prodi PSTM UNIMUS



**(Rubijanto.JP.,ST.,MT)  
Nik.28.6.1026.091**

Pembimbing

Co. Pembimbing

**(Drs.H.Samsudi Raharjo ST.,MMM.,MT.)  
NIK.28.6.1026.02**

**(Rubijanto.JP.,ST.,MT.)  
Nik.28.6.1026.091**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tri Wiwit Nur Ambar Susanto

Nim : C2AO11017

Judul Tugas Akhir : **PEMBENTUKAN KERAK  $\text{CaSO}_4$  PADA SIMULATOR PEMBENTUKAN KERAK DENGAN KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  1500 ppm DAN 2500 ppm PADA LAJU ALIR 30 mL/min**

Menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul tersebut belum pernah dipublikasikan di lingkungan Universitas Muhammadiyah Semarang. Tugas Akhir ini saya susun berdasarkan dengan norma akademik dan bukan hasil plagiat. Adapun 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 pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima segala konsekuensinya.

Semarang, 23 April 2016

Yang menyatakan,

Tri Wiwit Nur Ambar Susanto

## SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Tri Wiwit Nur Ambar Susanto  
Nim : C2AO11017  
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin  
Jenis Penelitian : Tugas akhir / Tugas Akhir  
Judul Tugas Akhir : **PEMBENTUKAN KERAK  $\text{CaSO}_4$  PADA SIMULATOR PEMBENTUKAN KERAK DENGAN KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  1500 ppm DAN 2500 ppm PADA LAJU ALIR 30 mL/min**  
email - [triwivitnurambar05@gmail.com](mailto:triwivitnurambar05@gmail.com)

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 penyimpanan, mengalih mediakan atau mengalih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (data base), mendistribusikanya, serta menampilkanya 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...April 2016

Yang menyatakan

Tri Wiwit Nur Ambar Susanto

## MOTTO

“Carilah ilmu meski kenegri Cina, karena mencari ilmu itu wajib bagi  
setiap muslim”

(Ibnu Adiy ( w.356 H) Dalam kitabnya al-Khamil fi Dhu’afa Rijal ,  
Hidup adalah sekolah tempat dimana kita bisa mendapatkan segala  
sesuatunya

dengan belajar, berusaha, bersaing dengan keras

untuk menjadi yang terbaik diantara yang paling baik

Orang yang mampu meraih jalan kesuksesan ialah orang yang selallu giat

berusaha, jujur,

pantang menyerah, siap bangkit disaat terpuruk,

mempunyai motivasi hidup, selallu taat kepada ALLAH SWT

dan selallu mendapat restu dari kedua orangtua



## PERSEMBAHAN

Atas rahmat dan ridho Allah SWT, serta senantiasa memberi perlindungan sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini, penulis persembahkan untuk

- 1 Almarhum Bapak sabdo utomo, dan ibu mursiyem tercinta dan kaka-kaka saya yang selalu memberi semangat ,mendo'akan dan memberi motivasi agar kelak mampu meraih kebahagiaan dan kesuksesan,
- 2 Terimakasih yang sebesar-besarnya saya ucapkan untuk semua dosen-dosen yang tidak bias saya sebutkan satu persatu. Terrutama buat dosen pembimbing tugas akhir Bapa Drs.H.Samsudi Raharjo ST.,MM.,MT yang selalu sabar dan memberi arahan pada saya untuk menyelesaikan tugas akhir.
- 3 Alyanti yang selalu memberi semangat dan motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir.
- 4 Semua Sahabat-sahabat yang telah membatu saya kususnya Wardoyo, Haris, Lukman, Bawono, Anjar, Soni, Ardi, Guntur, Dony dan pasukan basecamp teknik mesin Universitas Muhammadiyah Semarang.
- 5 Orang-orang yang ikut andil banyak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, terima kasih banyak
- 6 Semua teman-teman Teknik Mesi angkatan 2011.
- 7 Semua staf Universitas Muhammadiyah Semarang yang ada di kampus Kasipah.

Semarang, April 2016

Yang menyatakan

Tri Wiwit Nur Ambar Susanto

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puja dan puji syukur panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan segala Rahmat dan karunia-Nya pada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “pembentukan kerak  $CaO$  pada alat simulator pembentuk kerak dengan konsentrasi  $Ca^{2+}$  1500 ppm dan 2500 ppm pada laju alir 30 ml/min”. Tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan dengan baik, tanpa adanya bimbingan dan bantuan dari beberapa pihak terkait. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih penghargaan yang tinggi kepada :

1. Prof. Dr. Masrukhi selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Semarang.
2. Drs. H. Samsudi Raharjo, ST, MM, MT, selaku Wakil Rektor 3 Universitas Muhammadiyah Semarang dan dosen pembimbing I yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
3. Rubijanto JP., ST, MT, selaku dosen pembimbing II yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
4. Orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan selalu memberikan motivasi dan doa.
5. Alyanti sebagai pacar yang senantiasa memberi motivasi dan semangat.
6. Semua teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2011 atas bantuan dan dukungannya.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan dan doa.

Semoga Allah senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua. Selanjutnya penulis mengharapkan semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Semarang, April 2016

Yang menyatakan

Tri Wiwit Nur Ambar Susanto

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                                      | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRAK</b> .....  | <b>ii</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                                 | <b>iv</b>   |
| <b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....                       | <b>v</b>    |
| <b>SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI</b> .....                         | <b>vi</b>   |
| <b>MOTO</b> .....   | <b>vii</b>  |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....  | <b>viii</b> |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                     | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                                    | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                       | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                      | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG</b> .....                       | <b>xiv</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                                  | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar belakang.....   | 1           |
| 1.2 Perumusan Masalah.....                                      | 2           |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                      | 3           |
| 1.4 Mamfaat Penelitian.....                                     | 3           |
| 1.5 Batasan Masalah.....  | 3           |
| 1.6 Sistem Penulisan.....                                       | 3           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                            | <b>5</b>    |
| 2.1 Kerak.....  | 5           |
| 2.2 Pembentukan Kerak.....                                      | 6           |
| 2.3 Jenis Kerak dan Faktor Yang Mempengaruhi Pembentukanya..... | 8           |
| 2.4 Kristalisasi.....   | 10          |
| 2.5 Sistem Kristal.....   | 11          |
| 2.5.1 Sistem Kristal Kubus.....                                 | 12          |
| 2.5.2 Sistem Kristal <i>Teragonal</i> .....                     | 12          |
| 2.5.3 Sistem Kristal <i>Ortonombik</i> .....                    | 13          |
| 2.5.4 Sistem Kristal <i>Monoklin</i> .....                      | 14          |
| 2.5.5 Sistem Kristal <i>Triklin</i> .....                       | 14          |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.5.6 Sistem Kristal <i>Heksagonal</i> .....                    | 15        |
| 2.6 Kalsium Sulfat.....   | 16        |
| 2.7 Kerak Kalsium Sulfat.....                                   | 17        |
| 2.8 Sifat-Sifat Kalsium Sulfat.....                             | 18        |
| 2.9 Pengaruh Konsentrasi Pembentukan Kerak.....                 | 18        |
| 2.10 Pengaruh PH Terhadap Pembentukan Kerak Kalsium Sulfat..... | 19        |
| 2.11 Konsentrasi Larutan.....                                   | 19        |
| 2.12 Pengaruh Temperatur Terhadap Kerak.....                    | 19        |
| 2.13 Waktu Induksi.....   | 20        |
| 2.14 Pengujian SEM.....   | 20        |
| 2.15 Konsentrasi Larutan.....                                   | 24        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>                       | <b>25</b> |
| 3.1 Waktu Dan Temperatur.....                                   | 25        |
| 3.2 Bahan Penelitian.....                                       | 25        |
| 3.3 Diagram Alir Penelitian.....                                | 26        |
| 3.4 Langkah Penelitian.....                                     | 27        |
| 3.5 Sekema Alat.....  | 27        |
| 3.6 Alat Penelitian.....  | 28        |
| 3.6.1 Bagian-Bagian Alat Penelitian.....                        | 28        |
| 3.7 Pengujian Alat.....   | 36        |
| 3.8 Pembuatan Larutan.....                                      | 37        |
| 3.9 Persiapan Pipa Uji.....                                     | 39        |
| 3.10 Pelaksanan Percobaa.....                                   | 40        |
| 3.11 Variabel Penelitian.....                                   | 40        |
| 3.12 Pengambilan Data.....                                      | 41        |
| 3.13 Pengujian SEM, EDX.....                                    | 43        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                         | <b>43</b> |
| 4.1 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Masa Kerak.....               | 43        |
| 4.2 Analisa Waktu Induksi.....                                  | 44        |
| 4.3 Pengujian SEM.....  | 45        |
| 4.4 Pengujian EDS.....  | 46        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>                          | <b>48</b> |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |    |
|--|----|
| Lampiran 1 Grafik Hubungan Antara Konduktivitas..... | 47 |
| Lampiran 2 Morfologi.....                            | 48 |
| Lampiran 3 Hasil Analisis EDX.....                   | 49 |



## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Komponen Endapan Kerak.....                           | 9  |
| Tabel 2.2 Endapan Kerak Yang Umum Tedapat di Ladang Minyak..... | 9  |
| Tabel 2.3 Sistem Kristalisasi.....                              | 11 |
| Tabel 4.1 Hasil analisa mikro kristal kalsium sulfat.....       | 49 |



## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.4 Sistem Kristal <i>Ortorombik</i> .....                    | 13 |
| Gambar 2.5 Sistem Kristal <i>Monoklin</i> .....                      | 14 |
| Gambar 2.6 Sistem Kristal <i>Triklin</i> .....                       | 14 |
| Gambar 2.7 Sistem Kristal <i>Rombohedral</i> .....                   | 15 |
| Gambar 2.8 Sistem Kristal <i>Heksagonal</i> .....                    | 15 |
| Gambar 2.9 Hemihydrate.....  | 17 |
| Gambar 2.10 Dihydrate.....   | 17 |
| Gambar 2.11 Perbandingan Hasil Gambar Mikroskop cahaya electron..... | 21 |
| Gambar 2.12 Pantulan Elastis Dan Pantulan non Elastis.....           | 22 |
| Gambar 2.13 Skema SEM.....   | 23 |
| Gambar 3.1 Lab Robotik Dan Lab Termo Fluida.....                     | 25 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir.....   | 26 |
| Gambar 3.3 Skema <i>Klosed Circuit</i> .....                         | 27 |
| Gambar 3.4 Desain <i>Prototype</i> .....                             | 28 |
| Gambar 3.5 Pipa Tembaga.....   | 29 |
| Gambar 3.6 Pengaturan Laju Aliran.....                               | 29 |
| Gambar 3.7 <i>bypass</i> .....                                       | 30 |
| Gambar 3.8 Digital Temperatur Controller.....                        | 31 |
| Gambar 3.9 Gelas Ukur.....   | 31 |
| Gambar 3.10 <i>Iwaki Magnet Pump</i> .....                           | 32 |
| Gambar 3.11 <i>Autonics Graphic Panel</i> .....                      | 33 |
| Gambar 3.12 <i>Power Supply</i> .....                                | 34 |
| Gambar 3.13 <i>Conventer Autonic</i> .....                           | 35 |
| Gambar 3.14 Lampu LED.....   | 35 |
| Gambar 3.15 Saklar.....  | 36 |
| Gambar 3.16 Bak Penampungan.....                                     | 36 |
| Gambar 3.17 Kupon.....   | 39 |
| Gambar 3.18 Timbangan.....   | 40 |
| Gambar 3.19 Gelas Ukur.....  | 40 |
| Gambar 3.20 <i>Conductivity Meter</i> .....                          | 41 |
| Gambar 3.21 <i>Stop Watch</i> .....                                  | 41 |
| Gambar 3.22 Pelaksanaan Percobaan.....                               | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.1 Konsentrasi 1500 ppm.....                                 | 45 |
| Gambar 4.2 Konsentrasi 2500.....                                     | 45 |
| Gambar 4.3 Perbandingan Hasil Kerak.....                             | 45 |
| Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Konsentrasi $\text{Ca}^{2+}$ ..... | 46 |
| Gambar 4.6 Hasil Pengujian SEM dengan Pembesaran 3000 Kali.....      | 48 |



## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SEM = *Scanning Electron Microscopy*

EDS = *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*

$\mu$  = Viskositas dinamik fluida (kg/m.s) atau (N.det/m<sup>2</sup>)

D = diameter dalam pipa (mm)

$\mu$ s = microsimen

$\beta$  = Beta

$\alpha$  = Alfa

$\gamma$  = Gama



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pengerakan pada saluran pipa air atau pipa industri, limbah pabrik, bubur kertas, minuman buah, tekstil pewarna, limbah rumah sakit, dan berbagai saluran pipa lainnya merupakan masalah yang sangat serius karena dapat mengakibatkan kerugian besar pada industri tersebut. Proses pembentukan kerak atau kristal sebenarnya adalah akibat keadaan hidrodinamik dan thermal dalam suatu sistem atau akibat dari kinetik kimia, keadaan termodinamika dan sifat-sifat zat kimia seperti alkalin, kalsium, klorida, sulfat, nitrat, besi, seng, tembaga, fosfat, atau aluminium yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kadar air, kondisi larutan lewat jenuh, laju air, temperatur, tipe dan jenis pengotor (*unwated matetials*), jumlah inhibitor untuk menyerap ion, tingkat indeks kalsium (*Calsium Saturated Index*), pH, dan faktor lainnya (Merdah & Yassin, 2007).

Kerak didefinisikan sebagai suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substrat (Syahri dan Sugiharto, 2008). 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  $\text{CaSO}_4$  (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  $\text{CaSO}_4$  merupakan penyebab kerak pada beberapa sistem seperti instalasi *cooling water* (Tzotzi dkk, 2007). 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  $\text{CaSO}_4$ , 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 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  $\text{CaSO}_4$  dalam pipa memvariasikan konsentrasi (1500 ppm, 2500 ppm).

### 1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  terhadap masa kerak  $\text{CaSO}_4$  yang di hasilkan pada konsentrasi yang berbeda, yaitu 1500 ppm dan 2500.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  terhadap waktu induksi dan besarnya jumlah nilai konduktivitas yang diperoleh pada konsentrasi yang berbeda, yaitu 1500 ppm dan 2500 ppm
3. Mengetahui perbedaan bentuk Gypsum yang dihasilkan dari pengujian SEM dengan konsentrasi yang berbeda yaitu, 1500 ppm dan 2500 ppm.
4. Mengetahui unsur-unsur pembentuk kerak  $\text{CaSO}_4$  dengan pengujian EDS

### 1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental yang hasilnya berupa data empirik tentang fenomena pembentukan kerak kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) dan proses pencegahan terbetuknya kerak. 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.

### 1.5. 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 konsentrasi (1500 ppm, 2500 ppm).

## 1.6. Sistematika Penyusunan Laporan

Untuk mempermudah memperoleh gambaran mengenai permasalahan yang akan dibahas, maka dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu : Bab I berisi tentang latar belakang masalah, pembatasan masalah, tujuan dilakukan penelitian, metodologi pelaksanaan penelitian serta sistematika penyusunan laporan. Bab II membahas tinjauan pustaka yang berhubungan dengan permasalahan pengendalian pembentukan kerak dalam pipa. Bab III berisi tentang proses dan metodologi penelitian. Menjelaskan diagram alir dari metode penelitian, konsep dari alat simulasi kerak, konsep dari alat simulasi kerak, bagian-bagian dari alat penelitian, pembuatan sampel uji, pelaksanaan percobaan, serta tata cara mengalisa data. Bab IV berisi hasil penelitian dan pembahasan berisikan tentang data yang diperoleh dari hasil pengujian serta cara mengolah menggunakan teori-teori yang telah dijabarkan pada bab II tinjauan pustaka untuk mengetahui karakteristik kerak. Kemudian hasil disajikan dalam perhitungan konduktivitas larutan, waktu induksi, perhitungan berat kerak, hasil pengujian SEM, EDX. Bab V berisi tentang rangkuman hasil penelitian yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya serta saran-saran kedepan terkait hasil penelitian yang telah diperoleh.

## 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 (a) dalam Pipa (b) permukaan Heat exchangers (Crabtree dkk,1990).

## 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).

Ada beberapa jenis kerak yang timbul dalam pipa. Menurut Alice Antony, dkk (2011) kerak digolongkan kedalam tipe alkaline, non-alkaline, dan kerak silica. Kerak tipe alkaline dibentuk oleh Kalsium Karbonat yang melepaskan ion bikarbonat kedalam air kemudian diikuti oleh peningkatan temperatur, pH, dan kadar TDS (*Total Dissolven Solids*). Mekanisme pembentukan kerak berhubungan dengan berbagai aspek seperti; waktu, panas dan massa transfer, kinetik kimia, ilmu material dll, 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 adhesi Kristal ke permukaan dan melalui kohesi atau penggumpalan yang disebabkan oleh daya tarik satu Kristal dengan yang lainnya (M. Gourdon, 2011).

Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai parameter seperti kadar air, kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, temperatur, lama pengaliran, pada jenis aliran laminair menurut Trinh, Khanh Tuoe (2010)

Mekanisme pembentukan endapan kerak berkaitan erat dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ ), maupun anion ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses

kelarutan. Kelarutan didefinisikan sebagai batassuatu 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 kondisitekanan 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 :

- 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  $\text{CaSO}_4$  dapat dikategorikan dalam tiga tahapan pokok, yaitu :

### **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. 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).

### **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 mempengaruhi pembentukannya**

Ion yang berbentuk padatan dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk endapan kerak antara lain adalah kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), gipsum atau kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), dan barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ). Endapan kerak yang lain adalah stronsium sulfat ( $\text{SrSO}_4$ ) yang mempunyai intensitas pembentukan rendah dan kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ), yang biasa terbentuk pada peralatan pemanas, yaitu *boilers* dan *heater traters*, serta kerak dengan

komponen besi, seperti *iron carbonate* ( $\text{FeCO}_3$ ), *iron sulfide* ( $\text{FeS}$ ) dan *iron oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 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. (Sari 2011 UT.UI)**

| Chemical name  | Chemical formula   | Mineral name  |
|--|--|---|
| Water soluble scale<br>Natrium chloride  | $\text{NaCl}$  | Halite  |
| Acid soluble scale<br>Calcium carbonat<br>Iron carbonat<br>Iron sulfide<br>Iron oxide<br>Iron oxide<br>Magnesium hydroxide | $\text{CaCO}_3$<br>$\text{FeCO}_3$<br>$\text{FeS}_7$<br>$\text{Fe}_2\text{O}_3$<br>$\text{Fe}_2\text{O}_4$<br>$\text{Mg}(\text{OH})_2$ | Calcite<br>Siderite<br>Trolite<br>Hematite<br>Magnetit<br>Brucite |
| Acid insoluble scale<br>Calcium sulfat<br>Calcium sulfat   | $\text{CaSO}_4$<br>$\text{CaSO}_4$   | Anhydrate<br>Gypsum   |

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  
(Rolanrusli, 2011).**

| Jenis kerak   | Rumus kimia   | Faktor yang berpengaruh  |
|---|---|--|
| Kalsium Sulfat<br>(kalsit)  | $\text{CaCO}_3$   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penurunan tekanan (<math>\text{Ca}_2</math>)</li> <li>• Perubahan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> <li>• Perubahan keasamaan (pH)</li> </ul> |
| Kalsium sulfat<br>Gypsum (sering<br>hemi-Hydrate<br>anhydrite)                        | $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$<br>$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$<br>$\text{CaSO}_4$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahannm tekan dan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> </ul>   |
| Barium sulfate<br>Strontium sulfate   | $\text{BaSO}_4$<br>$\text{SrSO}_4$  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahannm tekan dan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> </ul>   |
| Komponen besi<br>Besi Sulfat<br>Sulfide besi<br>Ferrous hydroxide<br>Rerric hydroxide | $\text{FeCO}_3$<br>$\text{FeS}$<br>$\text{Fe}(\text{OH})_2$<br>$\text{Fe}(\text{OH})_2$<br>$\text{Fe}_2\text{O}_3$    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Korosi</li> <li>• Kandungan gas terlarut</li> <li>• Derajat keasamaan (pH)</li> </ul>   |

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

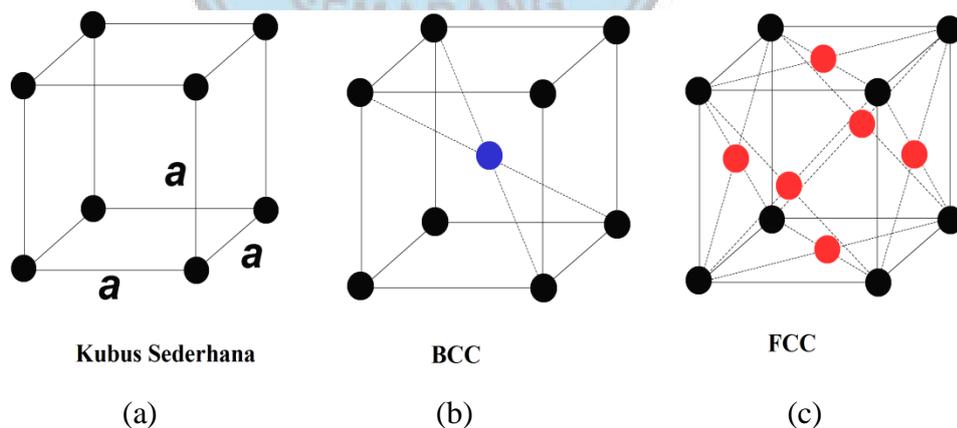
**Tabel 2.3** Tabel Sistem Kristalisasi (*Himavia.u januari 2015*)

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

|              |   |                 |                   |   |
|--------------|---|-----------------|-------------------|---|
| 5.           | <i>Triklin</i>                          | • Sederhana     | $a \neq b \neq c$ | $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$   |
| 6.           | <i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i> | • Sederhana     | $a = b \neq c$    | $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ |
| 7.           | <i>Heksagonal</i>                       | • Sederhana     | $a = b \neq c$    | $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$ |
| <b>Total</b> | 7 Sistem Kristal                        | 14 Kisi Bravais |                   |   |

### 2.5.1 Sistem Kristal Kubus

Sistem kristal kubus memiliki panjang rusuk yang sama ( $a = b = c$ ) serta memiliki sudut ( $\alpha = \beta = \gamma$ ) sebesar  $90^\circ$ . 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*) (Rolanrusli, 2011). 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) seperti pada Gambar 2.2. (Rolanrusli, 2011).

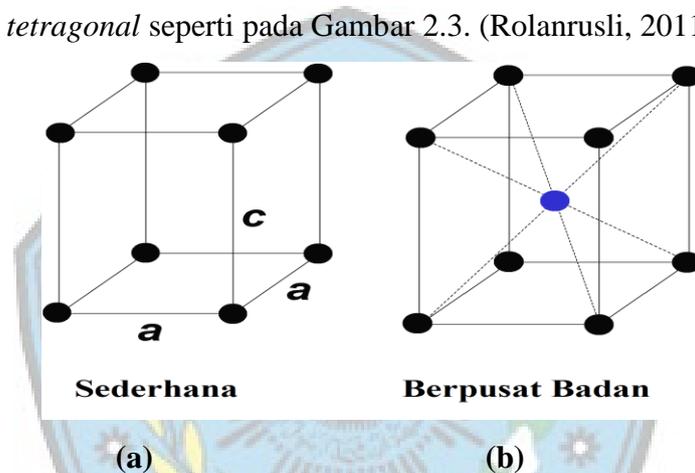


**Gambar 2.2.** Sistem Kristal Kubus (Sumber : [http\\_www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

### 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  $90^\circ$ . 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 *tetragonal* 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* seperti pada Gambar 2.3. (Rolanrusli, 2011).

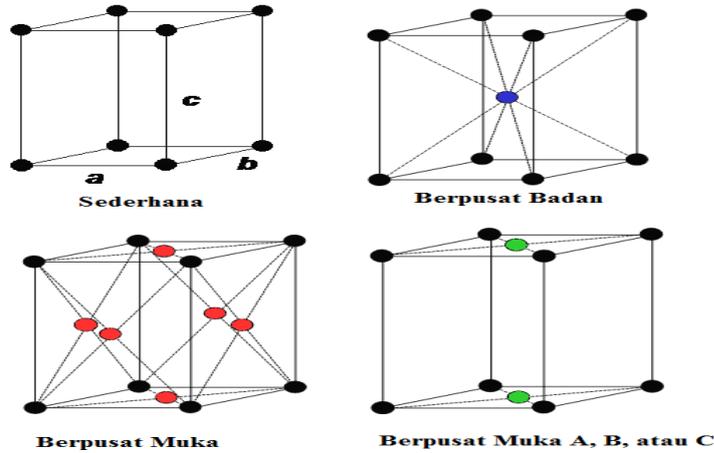


Gambar 2.3. Sistem Kristal *Tetragonal* (Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

### 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  $90^\circ$  (Rolanrusli, 2011).

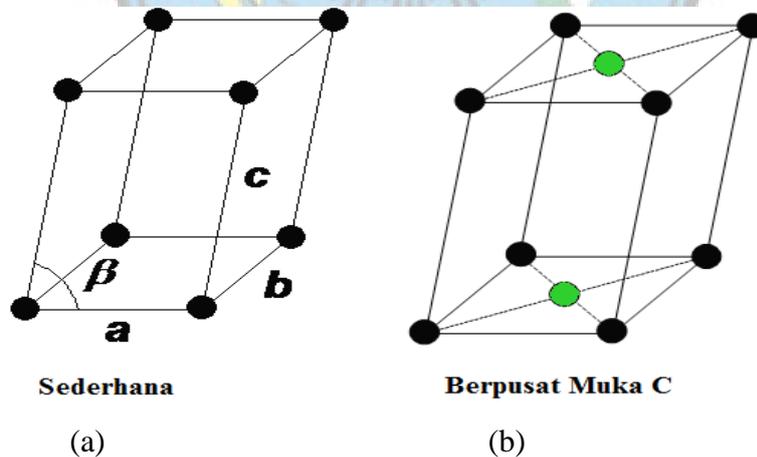
Gambar sistem kristal *ortomobrik* dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4.** Sistem Kristal *Ortorombik* (Sumber: <http://www.rolanrusli.com>)

#### 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) seperti pada Gambar 2.5. Sistem kristal *monoklin* ini memiliki panjang rusuk yang berbeda-beda ( $a \neq b \neq c$ ), serta sudut  $\alpha = \gamma = 90^\circ$  dan  $\beta \neq 90^\circ$  (Rolanrusli, 2011).

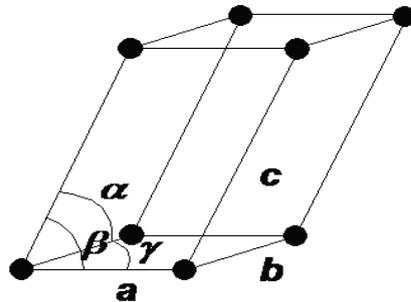


**Gambar 2.5.** Sistem Kristal *Monoklin* (Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

#### 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

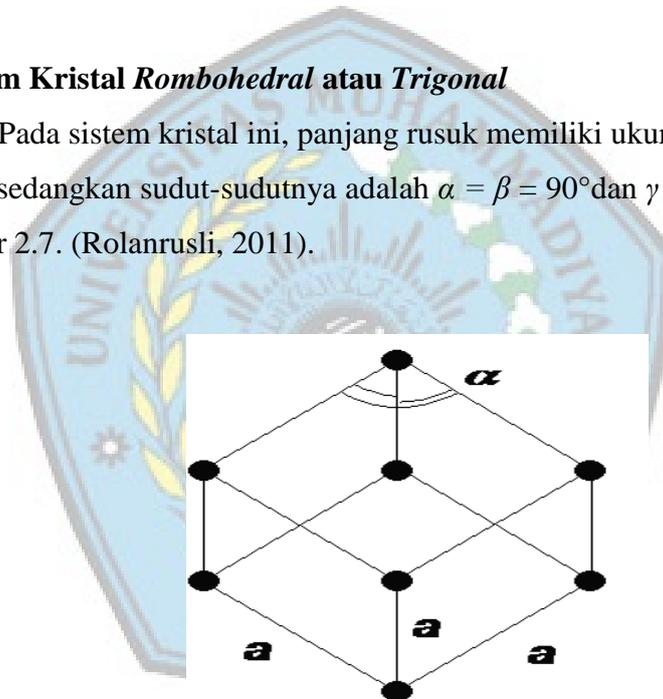
sudut yang berbeda-beda pula yaitu  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$  (Rolanrusli, 2011). Sistem kristal *triklin* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6. Sistem Kristal *Triklin*** (Sumber : [http\\_www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

#### 2.5.6. Sistem Kristal *Rombohedral* atau *Trigonal*

Pada sistem kristal ini, panjang rusuk memiliki ukuran yang sama ( $a = b \neq c$ ). sedangkan sudut-sudutnya adalah  $\alpha = \beta = 90^\circ$  dan  $\gamma = 120^\circ$  seperti pada Gambar 2.7. (Rolanrusli, 2011).

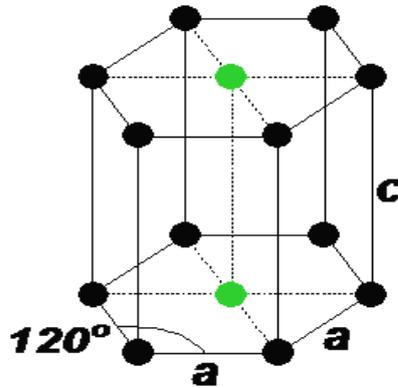


**Gambar 2.7. Sistem Kristal *Rombohedral* atau *Trigonal*** (Sumber : [http\\_www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

#### 2.5.7. Sistem Kristal *Heksagonal*

Pada system kristal ini, sesuai dengan namanya *heksagonal* (*heksa* = enam), maka system ini memiliki 6 sisi yang sama. System kristal ini memiliki dua nilai sudut yaitu  $90^\circ$  dan  $120^\circ$  ( $\alpha = \beta = 90^\circ$  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) seperti pada Gambar 2.8. (Rolanrusli, 2011).



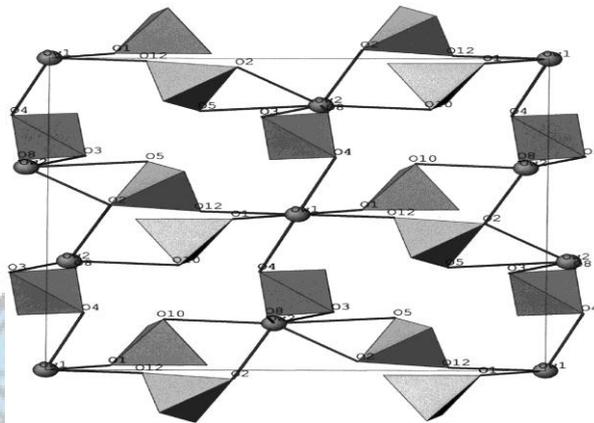
**Gambar 2.8.** Sistem Kristal *Heksagonal* (Sumber : [http\\_www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

## 2.6. Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ )

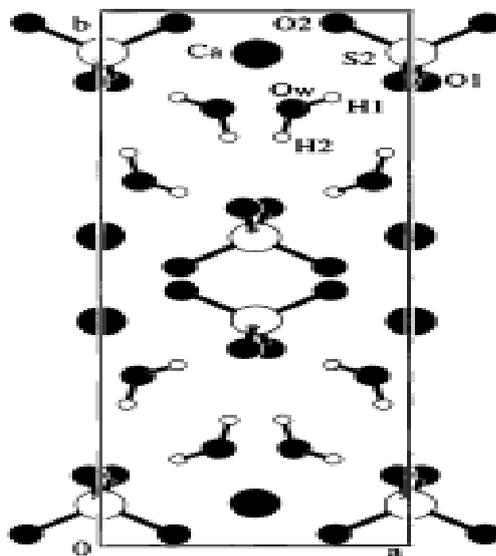
Kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) adalah merupakan garam yang terjadi subur di lingkungan alam dan juga muncul sebagai produk sampingan dari beberapa proses industri. Ini adalah senyawa kalsium, sulfur dan oksigen, dan dalam bentuk yang paling murni memiliki rumus kimia  $\text{CaSO}_4$ , ini dikenal sebagai anhidrat-bebas air-kalsium sulfat, atau anhidrit mineral. Hal ini juga datang dalam bentuk “*hydrous*”, yang dikenal sebagai mineral gipsum, yang memiliki rumus  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Bentuk-bentuk yang berbeda memiliki berbagai aplikasi, termasuk bahan bangunan, bahan pelembab, membuat cetakan untuk perawatan kaki retak dan menciptakan karya seni (Sridianti, 2015).

Dalam bentuk  $\gamma$ -anhidrat (bentuk hampir anhidrat), hal ini digunakan sebagai *desiccant*. Hal ini juga digunakan sebagai *coagulant* dalam produk seperti tahu. Dalam keadaan alami, dimurnikan kalsium sulfat merupakan batu putih tembus, kristal. Ketika menjual sebagai varian menunjukkan warna di bawah nama *Drierite*, tampaknya biru atau pink karena impregnasi dengan Cobalt(II) klorida, yang berfungsi sebagai indikator kelembaban. Hemihydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) lebih dikenal sebagai plester dari Paris, sementara dihydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) yang terjadi secara alami sebagai

gypsum seperti pada Gambar 2.8 dan 2.9. Bentuk anhidrat terjadi secara alami sebagai  $\beta$ -*anhidrit*. Tergantung dari metode *calcination* kalsium sulfat dihydrate, hemihydrates tertentu kadang-kadang dibedakan: alpha-hemihydrate dan beta-hemihydrate. Mereka tampak berbeda dalam ukuran kristal. Alfa-hemihydrate kristal lebih prismatik daripada beta-hemihydrate kristal dan, ketika dicampur dengan air, membentuk jauh lebih kuat dan lebih sulit suprastruktur (S. Gangolli, 2009).



**Gambar 2.9.** Hemihydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) (Sumber : *Eur J Mineral*, 2001)

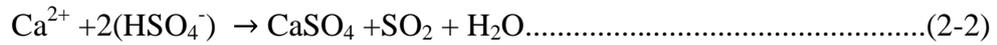
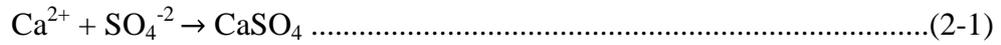


**Gambar 2.10.** Dihydrate ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

(Sumber : J. C. A. Boeyens dan V. V. H. Ichharam, 2002)

## 2.7. Kerak kalsium Sulfate

Kerak kalsium Sulfat merupakan endapan senyawa  $\text{CaSO}_4$  (kalsit) yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dengan ion Sulfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) ataupun dengan ion biSulfat ( $\text{HSO}_4^-$ ), 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:

- meningkatnya temperatur
- penurunan tekanan parsial  $\text{CO}_2$
- 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 dkk, 2011).

## 2.8. Sifat-sifat Kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ )

- Mudah terbakar dan bersifat stabil.
- Dapat diperoleh secara alami dalam bentuk barang berupa gipsum.
- Merupakan endapan yang dapat diperoleh dari reaksi antara kalsium karbonat dan natrium sulfat.

## 2.9. Pengaruh konsentrasi Pembentukan Kerak

Kelarutan kalsium Sulfat akan semakin berkurang dengan bertambahnya temperatur, sehingga semakin besar konsentrasi maka tingkat kecenderungan terbentuknya kerak  $\text{CaSO}_4$  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 (2-5) 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.

#### **2.10. Pengaruh pH Terhadap Terbentuknya Kerak CaSO<sub>4</sub>**

Dengan terdapatnya sejumlah SO<sub>4</sub> di dalam air akan memberikan pengaruh pH air dan daya larut dari kalsium sulfat. Dengan rendahnya pH akan semakin kecil kemungkinan terdapatnya *scale* kalsium sulfat, dan kebalikan semakin tinggi pH maka semakin banyak *scale* kalsium sulfat yang akan terbentuk.

#### **2.11. Konsentrasi Larutan**

Konsentrasi larutan merupakan ukuran yang digunakan untuk menyatakan kuantitas zat terlarut dalam suatu pelarut atau larutan. Terdapat berbagai cara yang digunakan untuk menyatakan konsentrasi larutan, dan masing-masing cara memiliki berbagai kegunaan masing-masing.

#### **2.12. Pengaruh temperatur terhadap Kerak**

Temperatur larutan dimana pergerakan terjadi mempunyai pengaruh terhadap jumlah kerak yang di hasilkan. Hal ini berarti bahwa kenaikan temperatur mengakibatkan peningkatan kecepatan pertumbuhan inti kerak. Dalam kondisi temperatur yang tinggi maka jumlah kerak yang dihasilkan oleh sistem akan semakin banyak.

Dengan meningkatnya temperatur maka kalsium sulfat yang terlarut semakin sedikit. Sehingga tingkat pengendapan pada suhu 65°C lebih tinggi dari pada suhu 30°C karena salah satu peningkatan kinetik dari kristalisasi dan berkurangnya larutan kalsium sulfat pada suhu yang lebih tinggi (Grases dkk, 2007).

Hubungan antara temperature dengan kerak yang terbentuk telah dikaji oleh (Hoang dkk, 2006) dimana didapatkan data bahwa pada

temperatur 20°C hingga 30°C pertumbuhan kerak masih relatif kecil, namun pada temperatur 30°C - 40°C terjadi peningkatan jumlah kerak yang cukup tajam. Ini berarti dalam kondisi laju alir sebesar 30 ml/menit, konsentrasi sebesar 2000 dan 3000 ppm dalam waktu 3 jam didapatkan laju pertumbuhan kerak semakin meningkat tajam bila temperatur naik.

### **2.13. 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)

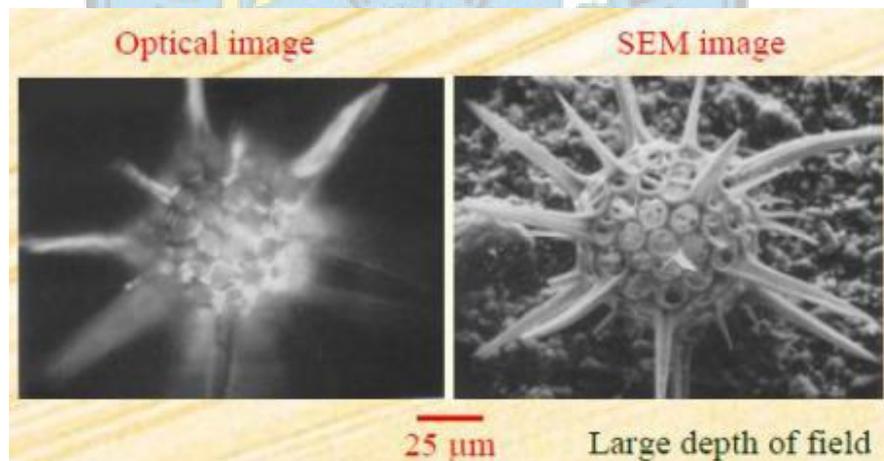
Untuk mendapatkan waktu induksi digunakan pendekatan tertentu agar mudah untuk diamati. Pada umumnya waktu induksi didekati dengan melihat nilai konduktivitas larutan dimana bila terjadi penurunan nilai konduktivitas yang signifikan maka hal ini memberikan isyarat bahwa ion-ion mulai bereaksi membentuk inti kristal. Dari grafik didapatkan waktu induksi yaitu ditandai dengan perubahan garis yang signifikan (Sediono dkk, 2011).

### **2.14. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*)**

Untuk mengetahui morfologi senyawa padatatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat scanning electron microscope (SEM). Scanning Electron Microscope adalah suatu tipe mikroskop electron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energy yang tinggi dari electron dalam suatu pola scan raster. Elektron berinteraksi dengan atom – atom yang akan membuat sampel menghasilkan sinyal dan memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat – sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

Tipe sinyal yang dihasilkan oleh SEM dapat meliputi elektron sekunder, sinar – X karakteristik dan cahaya (katoda luminisens). Sinyal tersebut datang dari hamburan elektron permukaan unsur yang berinteraksi dengan specimen. Sem menghasilkan gambar dengan resolusi yang tinggi dari suatu permukaan sampel, menangkap secara lengkap dengan ukuran sekitar 1 – 5 nm. SEM dapat menghasilkan karakteristik bentuk 3 dimensi sehingga mampu memberikan data yang lebih mudah tentang sample yang dianalisa. Agar menghasilkan gambar yang diinginkan maka SEM mempunyai sebuah lebar focus 25 – 250.000 kali.

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1-0,2 nm. Dibawah ini diberikan perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya dengan elektron seperti pada Gambar 2.10. (Material Cerdas, 2009).

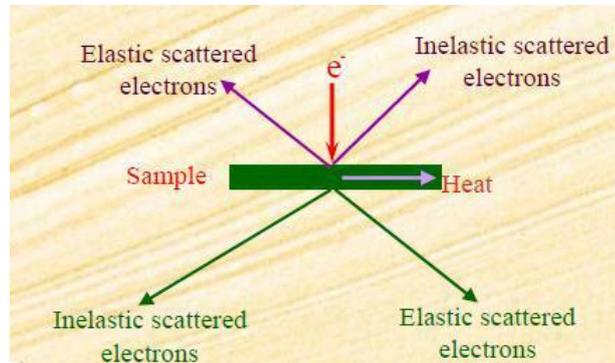


**Gambar 2.11.** Perbandingan hasil gambar mikroskop cahaya elektron

(Sumber : <http://mse.iastate.edu/microscopy/college.html>)

Disamping itu dengan menggunakan elektron kita juga bisa mendapatkan beberapa jenis pantulan yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis.

pantulan elastis dan pantulan non elastis yang di tunjukan pada **Gambar 2.11** dibawah ini (Material Cerdas, 2009).



**Gambar 2.12.** Pantulan elastis dan pantulan non elastis

(Sumber : <http://mse.iastate.edu/microscopy/college.html>)

Pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama antara lain:

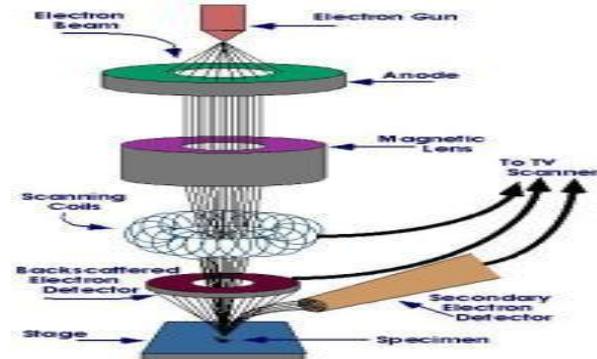
1. Pistol elektron, biasanya berupa filamen yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron misal tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecar oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

**Prinsip kerja dari SEM** adalah sebagai berikut:

1. Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.

4. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

Secara lengkap skema SEM dijelaskan oleh **Gambar 2.12**.



**Gambar 2.13.** Skema SEM (Sumber : <http://www.microscopy.ethz.ch/sem.htm>)

Adapun keunggulan dan kelemahan dari SEM :

**Keunggulan SEM** (Hasrin, 2010) :

- a. Daya pisah tinggi

Dapat ditinjau dari jalannya media, SEM dapat digolongkan dengan optic metalurgi dengan menggunakan prinsip refleksi, yang diartikan sebagai permukaan spesimen yang memantulkan berkas media.

- b. Menampilkan data permukaan spesimen

SEM pada hakekatnya pemeriksaan dan analisis data. Data atau tampilan yang diperoleh adalah permukaan lapisan yang tebalnya sekitar 20 mikrometer dari permukaan kemampuan yang beragam membuat SEM populer dan luas penggunaannya, tidak hanya dibidang material melainkan biologi, pertanian, kedokteran, dll.

- c. Kemudahan penyimpanan sampel

Spesimen untuk SEM berupa kerak yang cukup kecil, oleh karena itu penyimpanan sangat mudah. Untuk memeriksa permukaan diusahakan tetap seperti apa adanya, namun bersih dari kotoran misal debu dan minyak

### ***Kelemahan SEM*** (Hasrin, 2010)

1. Memerlukan kondisi vakum.
2. Hanya menganalisa permukaan.
3. Resolusi lebih rendah dari TEM.
4. Sempel harus bahan yang konduktif.

### **2.15. EDX / EDS(*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)**

EDS digunakan untuk mengenali jenis atom pada permukaan yang mengandung multi atom. Sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini, namun tidak semua SEM memiliki fitur ini. Informasi yang dihasilkan EDS didapatkan dari sinar-X karakteristik, yaitu sinar-X yang dihasilkan ketika elektron dari kulit luar berpindah ke kulit yang lebih dalam. Setiap kulit atom memiliki energi tertentu, untuk memenuhi aturan tersebut maka elektron dari kulit luar harus melepaskan sebagian energi untuk dapat berpindah ke kulit atom yang lebih dalam. Energi yang dilepas dipancarkan dalam bentuk sinar-X. Energi pancaran elektron dalam bentuk sinar X akan dideteksi dan dihitung oleh energy-dispersive spectrometer (EDX) dan akan dihasilkan keluaran berupa grafik puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang terkandung. EDS juga memiliki kemampuan untuk melakukan elemental mapping (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda-beda dari masing – masing elemen di permukaan bahan. EDS juga dapat digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen. (Sumber: <http://munawirul-q.blogspot.co.id/2011/03/scanning-electron-microscope-energy.html>)

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Waktu dan Tempat pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dan bertahap dilaksanakan selama bulan April-Juni 2015 dengan waktu efektif kurang lebih 3 bulan. Sebelum melakukan pengujian pembentukan kerak pada unit pipa tembaga dengan konsentrasi konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  1500 ppm dan 2500 ppm pada laju alir 30 mL/min. terlebih dahulu dilakukan pembuatan alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*. dilaksanakan di Laboratorium Thermofluid dan Laboratorium Robotik dan Otomatisasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang ditunjukkan pada **Gambar 3.1a** dan **Gambar 3.1b**.



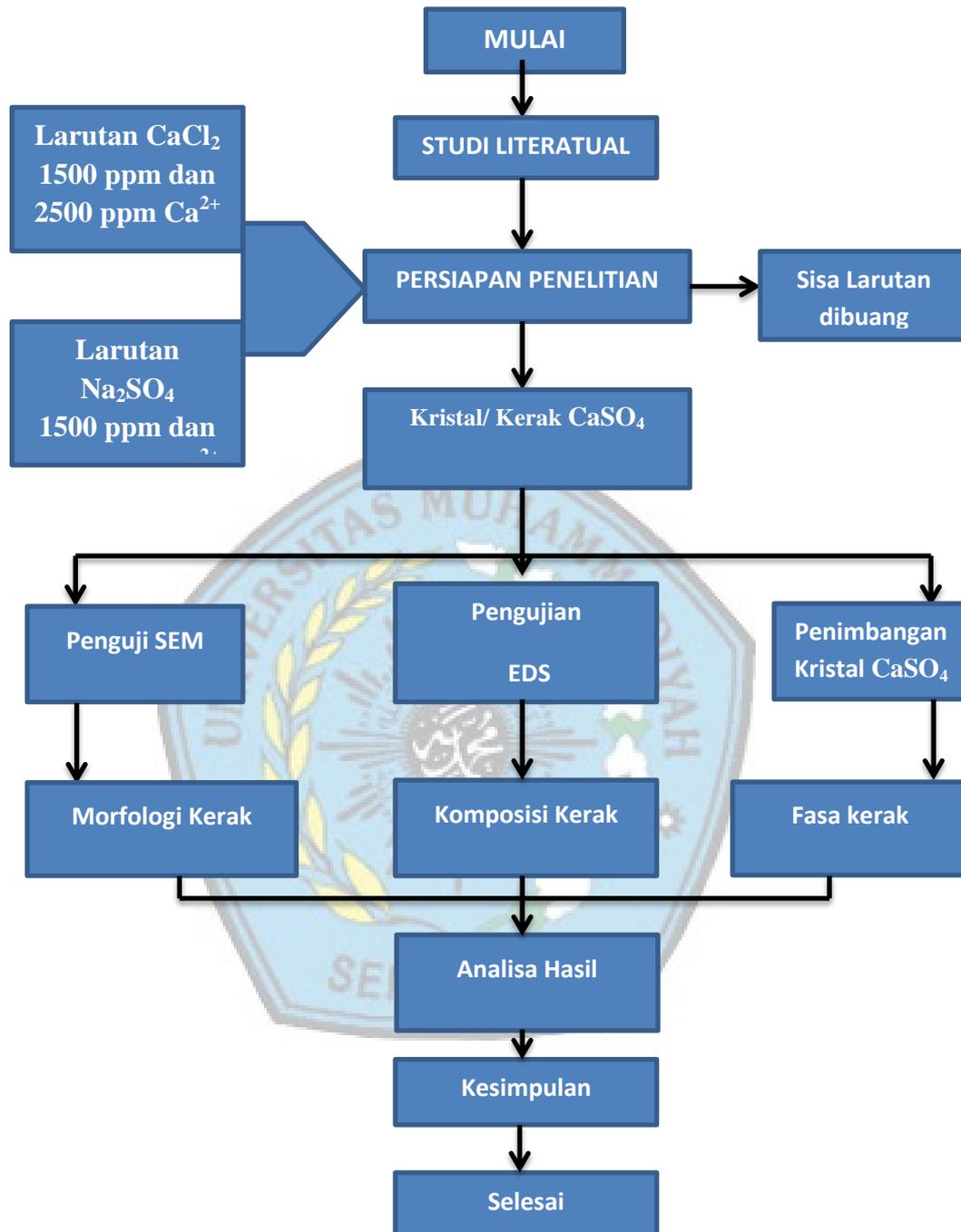
**Gambar 3.1.a)** Lab.Robotik dan Otomatisasi, **3.1.b)** Lab.Thermofluid

### 3.2. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dengan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  1500 ppm dan 2500 ppm dibuat dengan melarutkan kristal  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (*Natrium sulfat*) grade : analitik
- Larutan  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  1500 ppm dan 2500 ppm dibuat dengan melarutkan kristal  $\text{CaCl}_2$  (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Aquades

### 3.3. Diagram Alir Penelitian



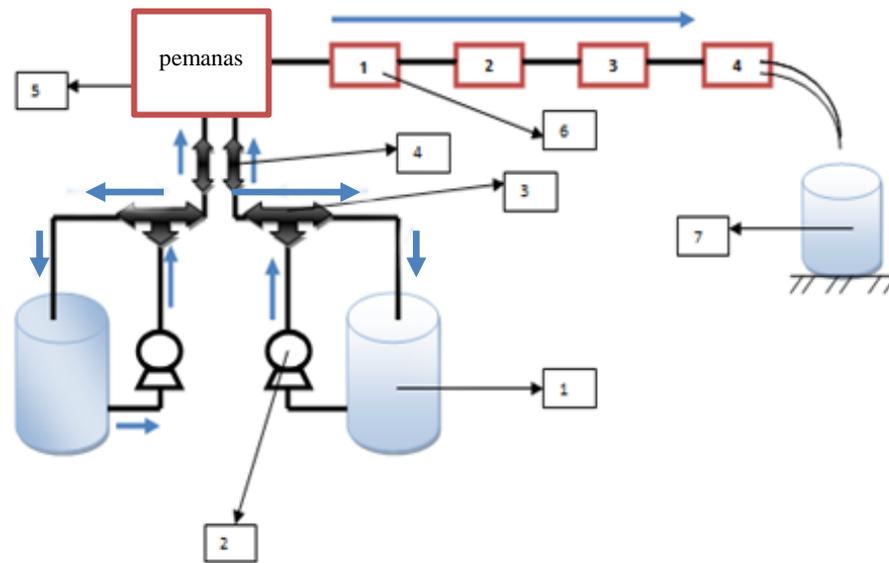
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.1. Langkah Penelitian

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

### 3.2. Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

Pada **Gambar 3.3** merupakan Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*.



**Gambar 3.3** Skema Simulator

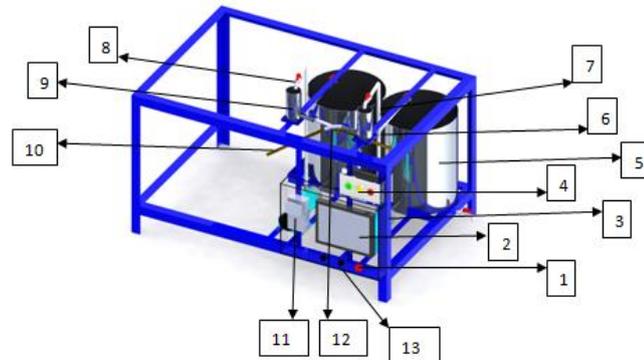
#### **Keterangan :**

- 1) Tabung  $\text{CaCl}_2$  (tabung 2)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (tabung 1)
- 2) Pompa iwaki magnetic (2 buah)
- 3) Bypass (2 buah)
- 4) Kran (2 buah)
- 5) Pemanas
- 6) Rumah sampel (4 buah)
- 7) Gelas ukur ( $\text{CaSO}_4$ )

### 3.3. Alat Penelitian

Desain *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* yang digunakan harus dapat beroperasi agar mendukung dalam memenuhi kebutuhan pelaksanaan penelitian secara dan pengambilan data secara akurat. Alat uji

dirangkai pada suatu rangka yang terbuat dari bahan plat besi. Desain *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.4.** Desain Simulator

Keterangan :

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Saklar Alat          | 8. Kran                |
| 2. Grafik Panel         | 9. Tabung Kecil        |
| 3. Pompa Iwaki Magnetic | 10. Rumah Sampel       |
| 4. Lampu Indikator      | 11. Temperatur Kontrol |
| 5. Bak penampung        | 12. pemanas            |
| 6. <i>By Pass</i>       | 13. Saklar Pompa       |
| 7. Pipa                 |                        |

### 3.3.1. Bagian-bagian Alat Penelitian

#### 1. Pipa Tembaga

Pipa tembaga adalah sebuah selongsor bundar yang digunakan untuk mengalirkan cairan. Dan berfungsi sebagai sampel untuk mengetahui seberapa ketebalan kerak kalsium Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa latin *Cuprum*. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak dengan permukaan jingga kemerahan. Dan pipa tembaga dapat dilihat pada **Gambar 3.5**. dan sifat fisik dari tembaga adalah sebagai berikut:

- No atom : 29

- Berat atom : 63,546
- Titik lebur : 1.083<sup>0</sup>C
- Titik didih : 2.567<sup>0</sup>C
- Kekuatan tarik : Mendekati 19.000 psi



**Gambar 3.5.** Pipa Tembaga

## 2. Kran Air

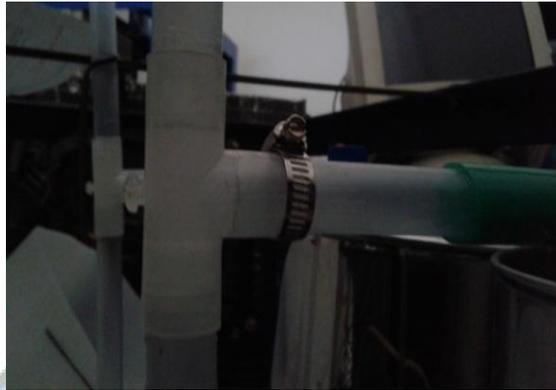
Kran merupakan alat untuk menutup atau membuka aliran air. Kran air memang menjadi salah satu perangkat yang luput dari pengamatan. Keberadaanya yang walaupun kecil justru memiliki fungsi dan peran yang sangat signifikan yaitu dalam hal-hal yang berkaitan dengan penggunaan air. Kran berfungsi sebagai katup akhir dalam proses pendistribusian air. Kran berfungsi sebagai katup akhir dalam proses pendistribusian air. Dalam penelitian ini kran digunakan sebagai pengatur laju aliran cairan CaSO<sub>4</sub> yang akan dialirkan ke kupon-kupon pengujian, sesuai dengan laju aliran yang sudah ditentukan yaitu 30 ml/menit, seperti pada **Gambar 3.6.**



**Gambar 3.6.** Pengaturan laju aliran kran

### 3. *Bypass Bypass*

digunakan untuk mengatur *output* aliran yang dibutuhkan cairan  $\text{CaSO}_4$  yang akan menuju ke kran dan akan kembali lagi ke bak penampung cairan, sehingga dapat mengurangi tekanan dari pompa tersebut. Alat *bypass* ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



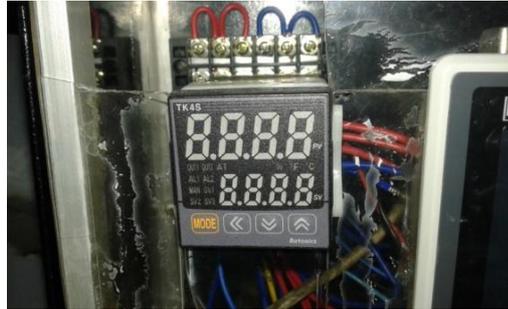
**Gambar 3.7.** Bypass

### 4. *Digital Temperature Controller*

*Temperature Controller* atau kontrol suhu adalah proses dimana perubahan suhu ruang dapat diukur atau terdeteksi, dan bagian dari energi panas yang ke dalam atau keluar dari ruang disesuaikan untuk mencapai suhu rata-rata yang diinginkan. *Digital temperature controller* ini adalah alat yang bisa mengontrol suhu untuk mengendalikan cooler/heater sesuai dengan settingan yang diinginkan. Untuk mendapatkan suhu yang diinginkan maka *thermocontrol* tersebut diatur sesuai dengan titik penyetelan yang diharapkan. Suhu yang aktual ini dibandingkan dengan kontrol temperatur yang diinginkan, atau titik penyetelan, dan menyediakan suatu keluaran untuk suatu elemen kendali. *Temperature controller* digunakan untuk mengatur suhu-suhu: seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. *Specification Temperature Control TK 4 S* yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Merk : Autonics *Temperature Control*
- Type : TK 4 S
- Power supply : 100-240 VAC 50/60 Hz

- *Power Consumption* : Max 8VA
- *Input type* : *Thermocouple*
- *Control type* : *Heating/cooling*
- *Option input* : *Digital input*



**Gambar 3.8.** Digital Temperature Controller TK 4 S

5. Gelas ukur

Gelas ukur dapat terbuat dari gelas (*polipropilen*) ataupun plastik. Fungsi gelas ukur adalah untuk mengukur *volume* 10 hingga 2000 mL. Gelas ukur dapat digunakan untuk mengukur *volume* segala benda, baik benda cair maupun benda padat pada berbagai ukuran *volume*. Gelas ukur pada penelitian ini digunakan untuk mengukur volume cairan  $\text{CaSO}_4$  yang keluar dari rumah-rumah kupon pengujian dan setelah itu dilakukan pengukuran untuk konduktivitas cairan  $\text{CaSO}_4$ . Gelas ukur dapat dilihat pada **Gambar 3.9.**



**Gambar 3.9.** Gelas ukur

## 6. Pompa

Pompa secara umum merupakan sebuah alat sebagai fasilitas pemindah cairan berupa air, adonan, kimia, dan lain-lain ketempat yang lebih tinggi, lebih rendah atau ketempat yang hendak dituju. Perpindahan ini menggunakan mekanisme dorongan dari mesin berupa *electromotor*, *angine*, dan tenaga listrik lainnya yang memutar *impeller* dalam pompa berputar mendorong cairan yang masuk kedalam pompa tersebut. Kecepatan dan kekuatan dorongan tergantung dari besar kecil pompa, diameter *input-output* dan kekuatan tenaga pemutar yang digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan dua pompa, untuk mengalirkan cairan  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{NaSO}_4$  dari bak penampung menuju ke kupon-kupon pengujian. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.10**. Data teknis pompa yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Merk* : Iwaki Mangnet Pump
- *Type* : MD-30R-220N
- *Max capacity* : 32/38 l/menit
- *Max head* : 3,8 / 5,4 m
- *Voltage* : 220/240 v
- *Power* : 60 / 80 w
- *Output* : 45 w
- *Power consumption* : 60 / 80 w
- *Current* : 45 w



**Gambar 3.10.** Iwaki Mangnet Pump MD-30R-220N

## 7. *Autonic Graphic Panel*

Autonic grafik panel digunakan untuk pembacaan dan mendukung berbagai aplikasi data. Fungsi autonic grafik panel yaitu sebagai perekam data yang memungkinkan untuk mengumpulkan dan *backup* berbagai data, serta didukung oleh *true color* (16,7 juta warna), layar TFT LCD, *Ethernet*, *port* USB, dan LCD dengan layar sentuh untuk meningkatkan kenyamanan pengguna. Panel yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Merk* : Autonic Graphic Panel
- *Type* : GP-SO70
- *Power supply* : 24 VDC
- *Power consumption* : *Max* 7,2 W
- *LCD Type* : TFT *Color* LCD
- *Resolution* : 800 x 480 *dot*
- *Color* : 16.777.216 *color*

Panel sebagai perekam data yang di tunjukan pada **Gambar 3.11**.  
*Autonic Graphic Panel GP-SO70. Specification Autonic Graphic*



**Gambar 3.11.** *Autonics Graphic Panel GP-SO70*

#### 8. *Power Supply*

Prinsip kerja *power supply* di atas adalah menurunkan tegangan ac 220 volt menjadi dc 9 volt kemudian melakukan perubahan sinyal bolak balik menjadi sinyal listrik searah (DC) yang di tubjukan pada **Gambar 3.12.**



**Gambar 3.12.** *Power Supply*

#### 9. *Converter Autonic*

*Converter autonic* adalah sebagai perekam data yang dihasilkan *counter* dengan penggunaan *software* dari *autonic*. Untuk bisa dikomunikasikan antara *Thermodigital* dengan PLC maka dibutuhkan sebuah perangkat lagi yaitu *Serial Converter Manual*. SCM berfungsi sebagai *converter* dari port RS485 ke port RS323. Pada PLC hanya terdapat port RS323, sedangkan port yang dimiliki pada *thermodigital* RS485 sehingga diperlukan sebuah SCM untuk mengkonverter dari RS485 ke RS323:

- Model : SCM Series
- *Power supply* : 5 VDC USB bus Power
- *Power Consumption* : Approk 1 W
- *Connection type* : USB type connector
- *Communication type* : Half Duplex type
- *Communication speed* : 1.200 – 115.200 bps

Alat sebagai perekam data yang dihasilkan *counter* dengan penggunaan *software* dari *autonic* yang di tunjukan pada **Gambar 3.13**. *Specfication* alat *converter autonic* SMC. Series adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.13.** *Converter Autonic*

#### 10. Lampu LED

Lampu LED atau kepanjangan *Light Emitting Diode* adalah suatu lampu indikator dalam perangkat elektronika yang biasanya memiliki fungsi untuk menunjukkan status dari perangkat elektronika tersebut. Lampu LED dalam penelitian ini digunakan untuk menunjukkan kinerja dari mesin alat uji. Lampu indikator warna kuning menunjukkan bahwa sedang beroperasi, lamupu merah menunjuka *heater* sedang beroperasi, dan lampu hijau akan menyala jika kipas pendingin sedang beroperasi. Lampu LED dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.

- Lampu Hijau : Kipas Pendingin
- Lampu Kuning: Pompa
- Lampu Merah : *Heater*



**Gambar 3.14.** Lampu LED

#### 11. Saklar

Saklar adalah komponen listrik yang berfungsi sebagai pemutus dan penyambung arus listrik. Saklar utama berfungsi sebagai pengaman ketika terjadi trouble pada sistem. Saklar ditunjukkan pada **Gambar 3.15**.



**Gambar 3.15.** Saklar

#### 12. Bak Penampung

Bak penampung digunakan untuk menampung cairan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  yang akan dialirkan ke pompa dan selanjutnya akan dialirkan ke kupon-kupon pengujian. Bak penampung dapat dilihat pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3.16.** Bak Penampung

### 3.4. 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  $\Delta h$  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.

### 3.5. Pembuatan Larutan $\text{CaCl}_2$ , $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$  pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia arutan  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_4$  dibawah ini



ntuk membuat larutan  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 2500 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  denganju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 1500 ppm da 2500 ppm  $\text{Ca}^{2+}$ .

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 (4x60x 25ml)                       | = 6000 ml     |
| Volume larutan $\text{CaCl}_2$ 1500 ppm $\text{Ca}^{2+}$          | = 3000 ml     |
| Volume larutan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 1500 ppm $\text{Ca}^{2+}$ | = 3000 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 $\text{CaCl}_2$ yang disiapkan          | = 4000 ml |
| Volume larutan $\text{Na}_2\text{SO}_4$ yang disiapkan | = 4000 ml |

Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 30 ml/menit

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Berat molekul (BM) $\text{CaCl}_2$ | = 110,98 g/mol |
|------------------------------------|----------------|

Berat Atom (BA) Ca = 40  
 Berat molekul (BM) Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 105,99 g/mol  
 1500 ppm Ca<sup>2+</sup> = 2000 mg/ liter

Untuk volume 4000 ml atau 4 liter, kebutuhan Ca<sup>2+</sup> adalah

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

Sehingga CaCl<sub>2</sub> yang dibutuhkan adalah

(110,98 / 40 ) x 8 gram = 22,196 gram

Mol CaCl<sub>2</sub> : 22,196 / 110,98 = 0,2 mol

Karena equimolar maka kristal Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dibutuhkan adalah

0,2 x 142,01 = **28,402 gram**

Dengan Cara yang sama untuk konsentrasi 2500 ppm :

CaCl<sub>2</sub> = 33,294 gram; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 42,603 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<sub>2</sub>, kristal Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, kristal asam sitrat, timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring. Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang kristal CaCl<sub>2</sub> dan kristal Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal CaCl<sub>2</sub> kedalam bejana kemudian diaduk dan dilanjutkan lagi dengan memasukkan *aquades* kedalam bejana hingga volumenya mencapai lima liter dan diaduk lagi sampai merata. Setelah larutan tercampur merata maka dilakukan penyaringan dengan kertas saring 0,22 µm. Sebelum digunakan larutan disimpan dalam bejana tertutup agar terhindar dari debu.

Pembuatan larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pembuatan larutan  $\text{CaCl}_2$ . Pembentukan kalsium Sulfat:  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{NaCl}$ . Untuk membuat larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 ml/menit.

### 3.6. Persiapan Pipa Uji

Jenis kupon yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis kupon yang terbuat dari pipa tembaga. Kupon adalah komponen yang dipasang pada sistem aliran yang diharapkan disitulah akan terjadi pengendapan kerak kalsium Sulfat. Kupon berbentuk pipa yang selanjutnya dikerjakan melalui proses permesinan menjadi bentuk pipa. Jenis kupon yang terbuat dari pipa tembaga yang di tunjukan pada **Gambar 3.17 (A)** Sebelum di rangkai dan **(B)** Sesudah di rangkai



**Gambar 3.17. Kupon**

Kupon dipasang dari bawah ke atas masuk ke rumah kupon. dimensi kupon adalah ;panjang 30 mm diameter luar 18 mm dan diameter dalam 12,5 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. Alat Ukur Yang Digunakan

#### 3.10.1 Timbangan

Timbangan adalah alat yang dipakai melakukan pengukuran massa suatu benda. Timbangan dalam penelitian ini digunakan atau dipakai untuk menimbang berat kupon pengujian sesuai dengan berat yang sudah ditentukan. Timbangan yang digunakan di tunjukkan **Gambar 3.18**.



**Gambar 3.18.** Timbangan

#### 3.10.2 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. Gelas ukur yang ditunjukkan pada **Gambar 3.19**.



**Gambar 3.19.** Gelas Ukur

a) *Conductivity Meter*

*Conductivity meter* digunakan untuk menentukan besaran konduktivitas pada larutan. Pengkalibrasian *conductivity meter* dapat dilakukan dengan pengukuran ke cairan aquades, karena aquades tidak memiliki ion-ion, maka *conductivity meter* menunjukkan angka nol jika *conductivity meter* masih dapat membaca dengan baik dan akurat. *Conductivity meter* ditunjukkan pada **Gambar 3.20**.



**Gambar 3.20.** Conductivity Meter (sumber : Multimeter-digital.com)

b) Stop Watch

Stop watch dalam penelitian ini digunakan sebagai pengukur waktu dalam pengambilan data saat pengujian berlangsung. Alat tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.21**.



**Gambar 3.21.** Stop Watch

(Sumber : <https://www.google.com/search?q=stopwatch>)

### 3.8. Pelaksanaan Percobaan

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan percobaan alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* dapat bekerja sesuai dengan yang kita inginkan. Setelah itu melakukan penyetelan laju aliran. Namun apabila alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* tidak bekerja dengan yang kita inginkan maka akan kembali ke tahap desain dan perakitan alat uji untuk melakukan modifikasi agar dapat bekerja dengan optimal.

Pelaksanaan percobaan dapat dilihat pada **Gambar 3.22.**



**Gambar 3.22.** Pelaksanaan percobaan

### 3.9. Variabel Penelitian

Variabel penelitian sangat penting dalam sebuah penelitian, karena sebagai landasan mempersiapkan alat dan metode pengumpulan data, dan sebagai alat menguji hipotesis. Pada penelitian ini terdapat 2 jenis variabel yang digunakan yaitu :

1. Variabel tetap

Variabel tetap dalam penelitian yaitu konsentrasi larutan, laju alir dan temperatur.

2. Variabel tidak tetap

Variabel respon dalam penelitian ini yaitu konduktivitas.

### 3.10. Pengambilan Data

Pengambilan data (percobaan) dilakukan dengan variasi konsentrasi (1500 ppm dan 2500 ppm). Larutan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{CaCl}_2$  masing-masing sebanyak 3 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. 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 elektroda conductivitymeter dimasukkan.

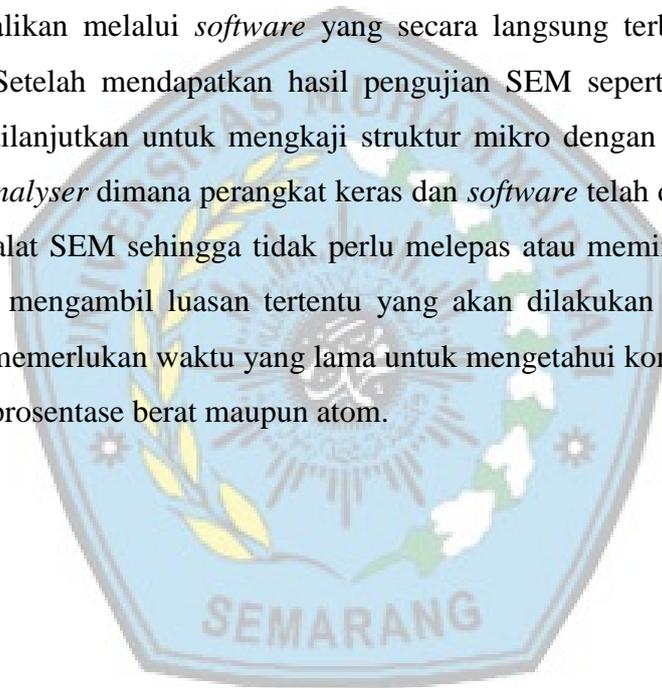
Conductivitymeter akan mengukur nilai konduktivitas larutan (pembacaan digital mulai berjalan dari nol kemudian naik sampai akhirnya berhenti). Angka yang terakhir inilah yang dicatat, dan seterusnya dilakukan berulang-ulang setiap dua menit. Setelah empat jam, pompa dihentikan dan saluran menuju kupon dilepas. Satu jam kemudian kupon diambil dari rumah kupon dan kemudian dikeringkan. 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.

### 3.11. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*), Microanalyzer EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

Pengujian SEM dan EDX Microanalyzer bisa dilakukan pada instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM- EDX. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian microalyser bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal. 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 *microanalyser* 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.



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengerakan konsentrasi 1500 ppm dan 2500 ppmS

Semakin besar konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$ , massa kerak yang terbentuk semakin banyak. Hasil penelitian menunjukkan pada konsentrasi 1500 ppm diperoleh massa kerak  $\text{CaSO}_4$  sebesar 52,6 mg sedangkan pada konsentrasi 2500 ppm menghasilkan massa kerak  $\text{CaSO}_4$  102,8 gram. Pada Hasil Pengerakan konsentrasi 2500 ppm massa kerak kalsium sulfat yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan kondisi pada konsentrasi 1500 ppm dan dari pengujian tersebut terlihat hasil yang diperoleh pun cukup signifikan, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1** Konsentrasi 1500 ppm, **Gambar 4.2** Konsentrasi 2500 ppm dan **Gambar 4.3** Perbandingan hasil kerak.

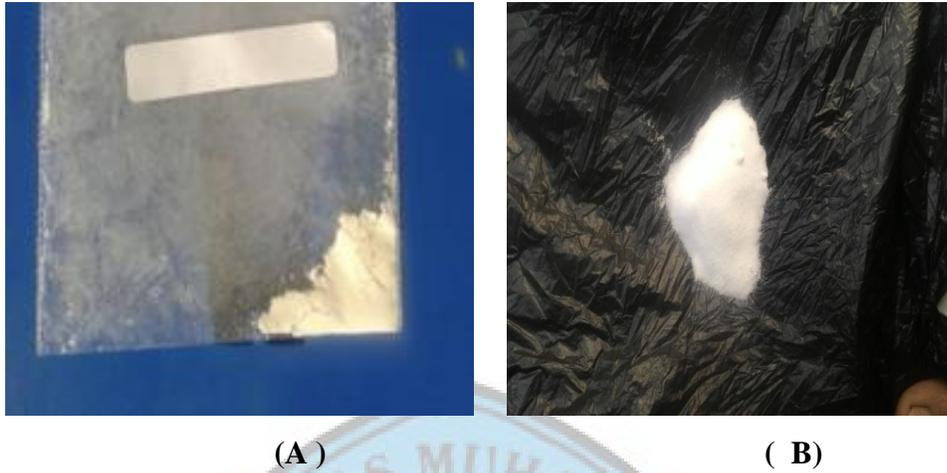


**Gambar 4.2** Konsentrasi 1500 ppm



**Gambar 4.1** Konsentrasi 2500 ppm

perbandingan Hasil Kerak dengan Konsentrasi 1500 ppm dan 2500 ppm yang di tunjukan pada **Gambar 4.3**

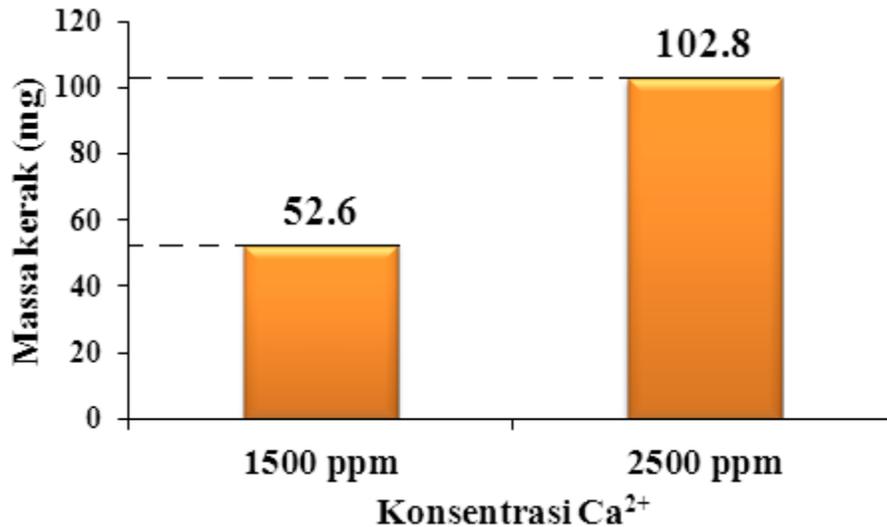


**Gambar 4.3** Perbandingan Hasil Kerak dengan Konsentrasi 1500 ppm (A) dan 2500 ppm (B)

#### 4.2 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Massa Kerak $\text{CaSO}_4$

Penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap massa kerak kalsium sulfat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh konsentrasi terhadap pembentukan massa kerak kalsium sulfat. Konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1500 ppm dan 2500 ppm.

Pengaruh konsentrasi terhadap massa kerak kalsium sulfat ditunjukkan pada **Gambar 4.4**



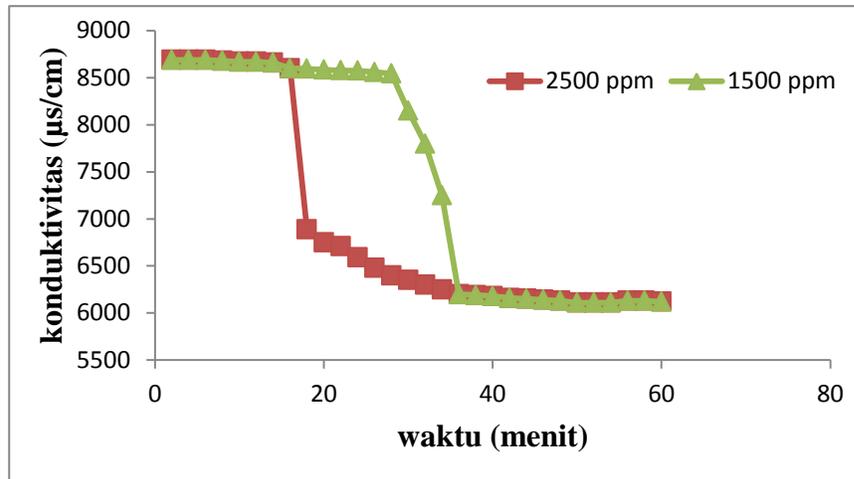
**Gambar 4.4.** Grafik hubungan antara konsentrasi Ca<sup>2+</sup> dengan Massa Kerak kalsium sulfat

Pada kondisi konsentrasi 2500 ppm massa kerak kalsium sulfat yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan kondisi pada konsentrasi 1500 ppm. Ini menunjukkan pada kondisi konsentrasi 2500 ppm, reaksi antara *reaktan* (*Reaktan* adalah zat yang hadir pada awal reaksi kimia) CaCl<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> berjalan lebih cepat dibanding pada konsentrasi 1500 ppm. Semakin tinggi konsentrasi reaktan dalam suatu reaksi, tumbukan antara molekul *reaktan* CaCl<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> akan semakin banyak, sehingga kecepatan reaksi akan meningkat.

#### 4.3 Analisa 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 1500 ppm dan

2500 ppm masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda. Grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu, yang ditunjukkan pada **Gambar 4.5**



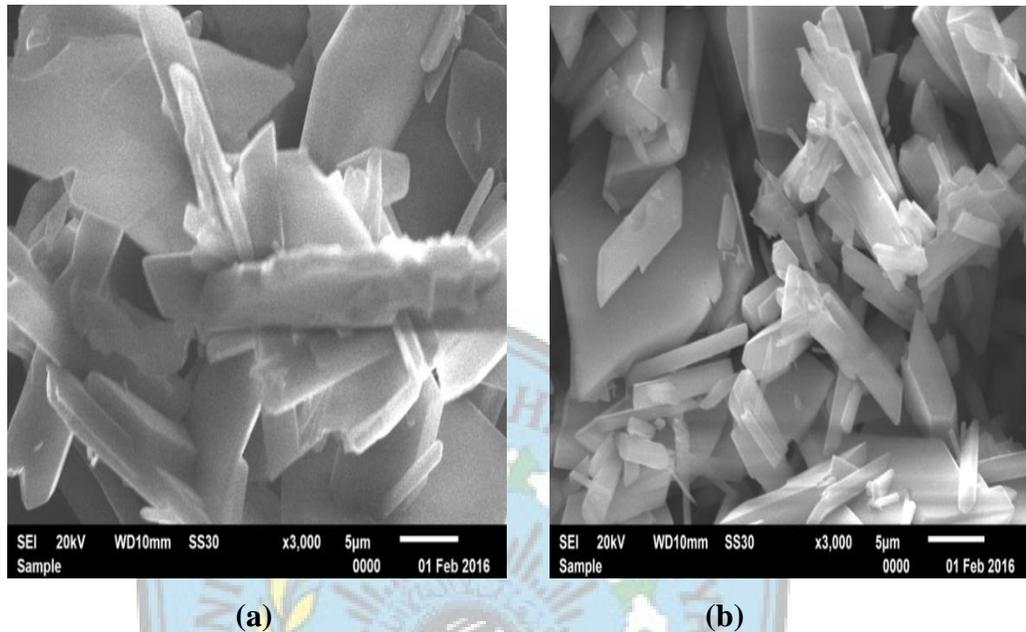
**Gambar 4.5** Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Gambar 4.5 merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian pada variasi konsentrasi larutan  $\text{Ca}^{2+}$ . Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi untuk konsentrasi 2500 ppm adalah 16 menit dengan nilai konduktivitas 8600  $\mu\text{S/cm}$  sedangkan pada konsentrasi 1500 ppm memiliki waktu induksi 30 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8150  $\mu\text{S/cm}$ . Nilai waktu induksi pada konsentrasi 1500 ppm yang lebih rendah dari konsentrasi 2500 ppm menunjukkan proses pembentukan inti kristal pada konsentrasi 2500 ppm lebih cepat dibandingkan 1500 ppm.

#### 4.4 Pengujian SEM(*Scanning Electron Microscopy*)

Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM-EDX. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal dan pengujian EDS untuk membuktikan bahwa kerak dari hasil penelitian itu betul-betul kerak kalsium

Sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ). 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 4.6**



**Gambar 4.6.** Morfologi kerak kalsium Sulfat hasil percobaan dengan konsentrasi (a) 2500 ppm (b) 1500 ppm.

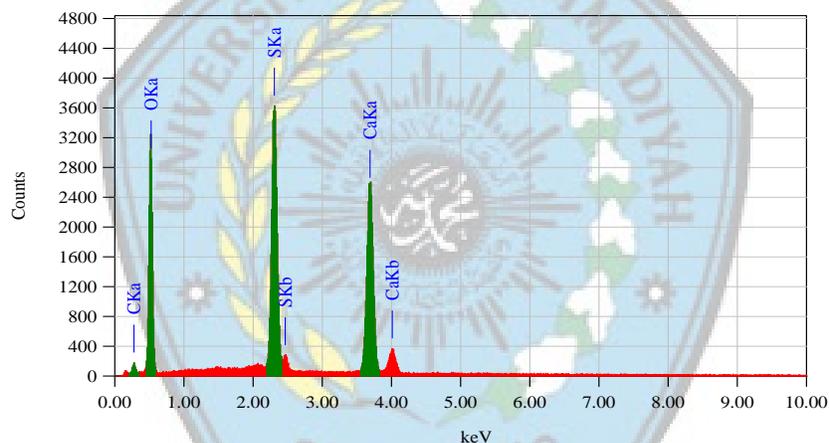
Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada **Gambar 4.6** dengan perbesaran 3000 kali. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan  $\text{CaSO}_4$  2500 ppm. **Gambar (a)** merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi dengan konsentrasi 2500 ppm. Pada gambar tersebut terlihat bahwa jenis kristal yang terbentuk adalah fasa gypsum, gypsum memiliki bentuk lempengan/plat besar. **Gambar (b)** merupakan hasil uji kristalisasi 1500 ppm, pada gambar tersebut terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah gypsum dengan lempeng lebih terlihat kecil. Fase Gypsum kerak kalsium sulfat memiliki bentuk kristal *monoklin*.

Dari ketiga 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 lainnya kalsium sulfat yaitu bassanite, merupakan jenis *softscale* yang lebih mudah dibersihkan apabila menempel pada dinding dalam pipa (Holysz dkk, 2007).

#### 4.5 Pengujian EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

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. Hasil Pengujian EDS hasil percobaan dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4.7.** Hasil Analisis EDS

Hasil analisa mikro kristal kalsium sulfat yang di tunjukan pada **Tabel 4.1**

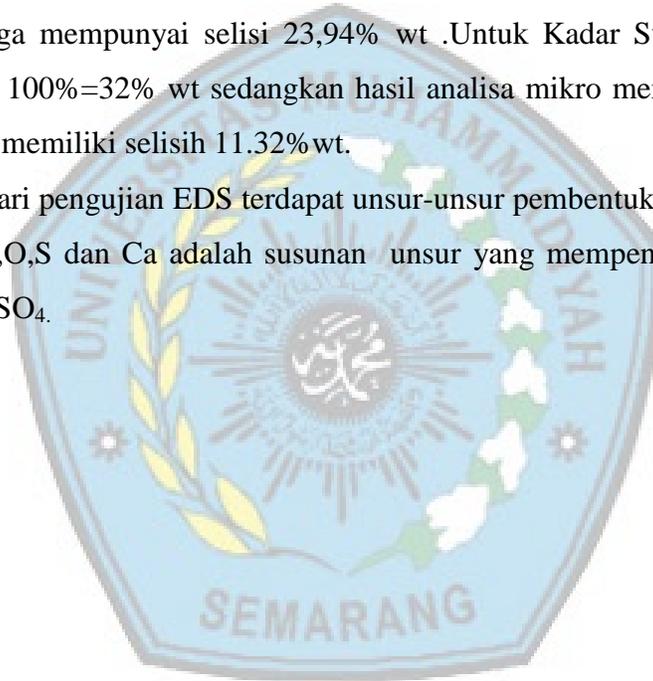
**Tabel 4.1.** Hasil analisa mikro kristal kalsium sulfat

| 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 presentase atom. Presentase diatas bila dibandingkan dengan hitungan secara teoritis ternyata mempunyai perbedaan.

Menurut perhitungan teoritis presentase berat kandungan Ca pada  $\text{CaSO}_4$  seharusnya adalah  $40/100 \times 100\% = 40 \text{ wt\%}$  sedangkan hasil analisa mikro kandungan Ca = 22,80% sehingga mempunyai selisih 10,2%. Untuk kadar carbon (C) seharusnya  $12/100 \times 100\% = 12 \text{ wt\%}$  sedangkan hasil analisa mikro 18,10% wt sehingga mempunyai selisi 6,1%. Untuk kadar oksigen seharusnya  $64/100 \times 100\% = 64 \text{ wt\%}$  sedangkan hasil analisa mikro menunjukan 40,06% wt sehingga mempunyai selisi 23,94% wt .Untuk Kadar Sulfur (S) seharusnya  $32/100 \times 100\%=32\% \text{ wt}$  sedangkan hasil analisa mikro menunjukan 20.68 %wt sehingga memiliki selisih 11.32%wt.

Dari pengujian EDS terdapat unsur-unsur pembentuk kerak  $\text{CaSO}_4$  hingga 100% .C,O,S dan Ca adalah susunan unsur yang mempengaruhi pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$ .



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

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

1. Semakin besar konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$ , massa kerak yang terbentuk semakin banyak. Hasil penelitian menunjukkan pada konsentrasi 1500 ppm diperoleh massa kerak  $\text{CaSO}_4$  sebesar 52,2 mg sedangkan pada konsentrasi 2500 ppm menghasilkan massa kerak  $\text{CaSO}_4$  102,8 gram.
2. Semakin besar konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$ , waktu induksi akan semakin cepat. Waktu induksi untuk konsentrasi 2500 ppm adalah 16 menit dengan nilai konduktivitas 8600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sedangkan pada konsentrasi 1500 ppm memiliki waktu induksi 30 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
3. Dari pengujian SEM terlihat perbedaan hasil Gypsum yang berbentuk kepingan kepingan kecil untuk konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  1500 ppm sedangkan untuk 2500 ppm membentuk lempengan yang lebih besar.
4. Dari hasil uji EDX diketahui unsur-unsur pembentuk kerak  $\text{CaSO}_4$ . Dan hasil EDX tersebut memiliki kesamaan bila dibandingkan dengan EDS penelitian  $\text{CaSO}_4$  yang lain.

#### **5.2 Saran**

- a. Penelitian kerak  $\text{CaSO}_4$  dapat dilakukan kembali dengan alat penelitian yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), dengan jenis aliran turbulen, dll.
- b. Penelitian ini juga bias jadi bahan acuan untuk jenis kerak yang lainnya (seperti kerak barium sulfat, strontium sulfat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.

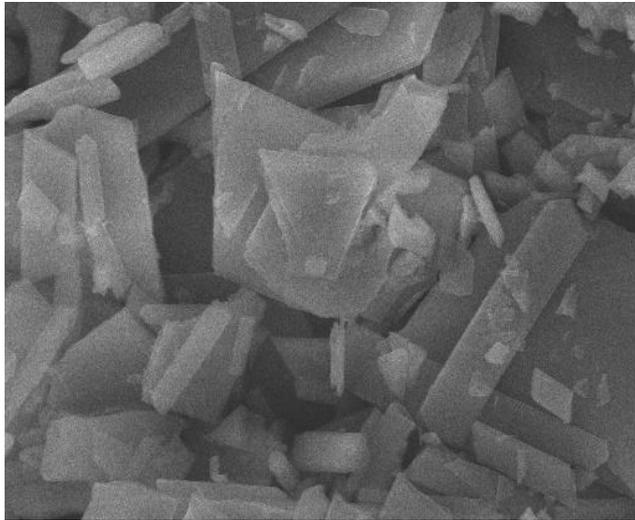
## DAFTAR PUSTAKA

- Antony, A., Low, J. H., Gray, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., Leslie, G. (2011). *Scale formation and control in high pressure membranewater 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, Vol.2. No.1, Hal.20-26.
- Association World Congress on Desalination and Water Reuse/ Tianjen China, pp.13-119. Bott, T.R., (1995), *Fouling of Heat Exchangers*, Elsevier, Amsterdam and New York.
- Holysz, L., Szczes, A., Chibowski, E. (2007). *Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions*. Journal of Colloid and Interface Science, 316(2), 996-1002.
- Kiaei, Z., Haghtalab, A. (2014). *Experimental study of using Ca-DTPMP nanoparticles in inhibition of CaSO<sub>4</sub> scaling in a bulk water process*. Desalination, 33, 84-92.
- Martos, C., Coto, B., Pena, J., L., Rodriguez, R., Merino-Garcia, D., Pastor, G. (2010), *Effect of Precipitation and detection technique on particle size distribution of CaCO<sub>3</sub>*, Elsevier B.V.
- Ma'mun, H., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2013). *Pembentukan kerak kalsium Sulfat (caco<sub>3</sub>) di dalam pipa beraliran laminer pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif asam malat*. InProsiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik (Vol. 1, No. 1).
- 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.

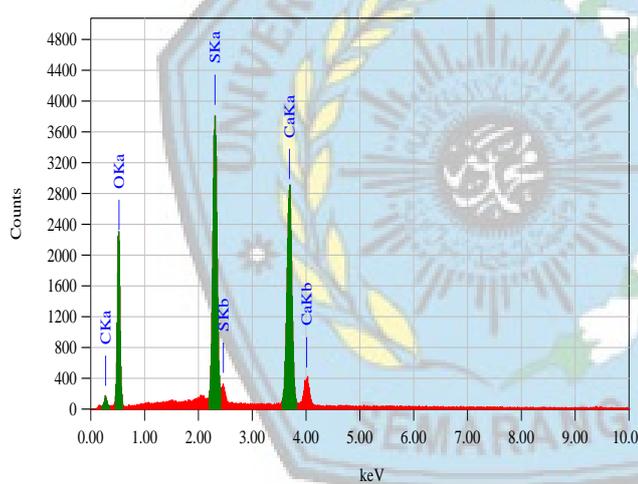
- Saksono, N., Mubarak, M. H., Widaningrum, R., Bismo, S. (2007). *Pengaruh Medan Magnet terhadap Konduktivitas Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  serta Presipitasi dan Morfologi Partikel  $\text{CaCO}_3$  pada Sistem Fluida Statis*. Jurnal Teknologi, 318-323.
- Sediono, W., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2011). *Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum Dengan Konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$ : 3500 Ppm Dan Aditif  $\text{Fe}^{2+}$* . Momentum, 7(2).
- Setta, F. A., Neville, A. (2011). *Efficiency assessment of inhibitors on  $\text{CaSO}_4$  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 Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta.
- Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., Andritsos, N. (2007). *A study of  $\text{CaSO}_4$  skala formation and inhibition in RO and NF membrane processes*. Journal of Membrane Science, 296(1), pp.171-

**LAMPIRAN**

Hasil Uji SEM-EDS 1500 ppm.



Title : IMG1  
-----  
Instrument : 6510 (LA)  
Volt : 20.00 kV  
Mag. : x 3,000  
Date : 2016/02/01  
Pixel : 512 x 384

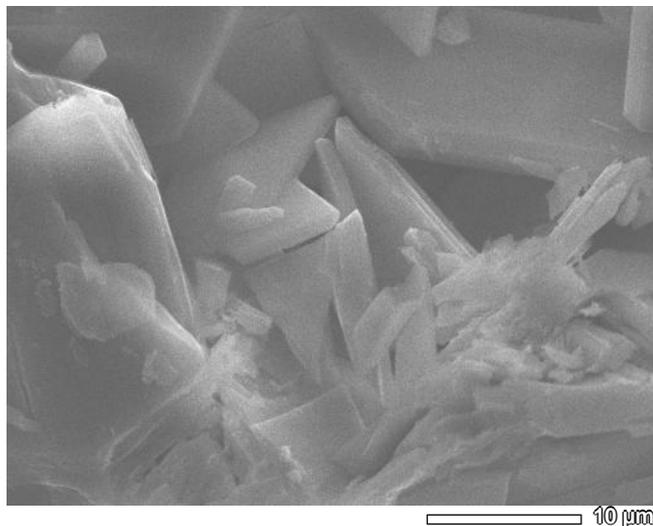


Acquisition Parameter  
Instrument : 6510 (LA)  
Acc. Voltage : 20.0 kV  
Probe Current: 1.00000 nA  
PHA mode : T3  
Real Time : 51.29 sec  
Live Time : 50.00 sec  
Dead Time : 2 %  
Counting Rate: 2718 cps  
Energy Range : 0 - 20 keV

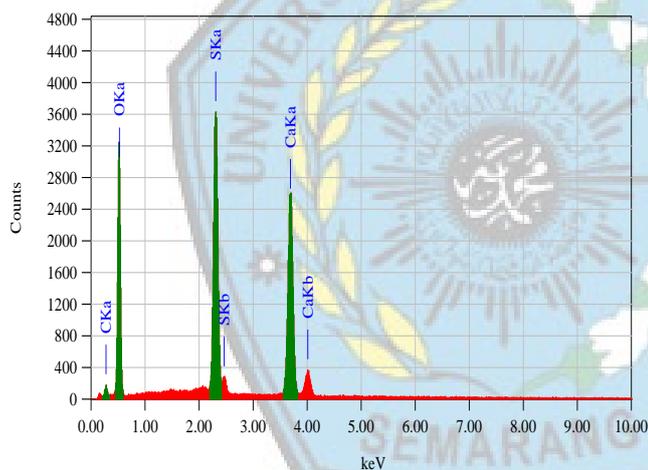
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis  
Fitting Coefficient : 0.0298

| Element | (keV) | Mass%  | Sigma | Atom%  | Compound | Mass% | Cation | K       |
|---------|-------|--------|-------|--------|----------|-------|--------|---------|
| C K     | 0.277 | 8.74   | 0.20  | 13.64  |          |       |        | 2.1272  |
| O K     | 0.525 | 59.62  | 0.56  | 69.84  |          |       |        | 52.7304 |
| S K     | 2.307 | 14.79  | 0.11  | 8.64   |          |       |        | 21.0023 |
| Ca K    | 3.690 | 16.85  | 0.14  | 7.88   |          |       |        | 24.1402 |
| Total   |       | 100.00 |       | 100.00 |          |       |        |         |

## Hasil Uji SEM-EDS 2500 ppm.



Title : IMG1  
-----  
-  
Instrument : 6510 (LA)  
Volt : 20.00 kV  
Mag. : x 3,000  
Date : 2016/02/01  
Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter  
Instrument : 6510 (LA)  
Acc. Voltage : 20.0 kV  
Probe Current: 1.00000 nA  
PHA mode : T3  
Real Time : 51.26 sec  
Live Time : 50.00 sec  
Dead Time : 2 %  
Counting Rate: 2718 cps  
Energy Range : 0 - 20 keV

## ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.0295

| Element | (keV) | Mass%  | Sigma | Atom%  | Compound | Mass% | Cation | K       |
|---------|-------|--------|-------|--------|----------|-------|--------|---------|
| C K     | 0.277 | 7.65   | 0.17  | 11.64  |          |       |        | 1.8447  |
| O K     | 0.525 | 65.10  | 0.52  | 74.41  |          |       |        | 62.0797 |
| S K     | 2.307 | 13.27  | 0.10  | 7.57   |          |       |        | 17.4098 |
| Ca K    | 3.690 | 13.98  | 0.12  | 6.38   |          |       |        | 18.6658 |
| Total   |       | 100.00 |       | 100.00 |          |       |        |         |