

**PENGENDALIAN KERAK  $\text{CaCO}_3$  MENGGUNAKAN  
ALUMINA 10% PADA KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm  
DALAM PIPA**



**TUGAS AKHIR**

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

**Disusun oleh:**

**ARIF TRI KISETYANTO**

**C2A214007**

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

## KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah SWT yang telah memberikan segala Rahmat dan karunia-Nya pada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “PENGENDALIAN KERAK  $\text{CaCO}_3$  MENGGUNAKAN ALUMINA 10% PADA KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm DALAM PIPA”. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat dihari akhir nanti. 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. H. Masrukhi, M.Pd., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Semarang.
2. Drs. H. Samsudi Raharjo, ST.,MM.,MT. selaku Wakil Rektor III dan Dosen Pembimbing I yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kebijaksanaan.
3. Dr. R.M. Bagus Irawan, ST., Msi. IPP. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.
4. Rubijanto Juni P, ST, MEng, selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang, yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
5. Kedua orangtua tercinta yang selalu mendoakan dan selalu memberikan motivasi.
6. Istri tercinta yang selalu menemani dan menyemangati di dalam doa dihati.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2014 atas bantuan dan dukungannya dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

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

Semarang, 2016

Penulis,

**Arif Tri Kisetyanto**

**PENGENDALIAN KERAK  $\text{CaCO}_3$  MENGGUNAKAN ALUMINA 10% PADA  
KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm DALAM PIPA**

Disusun oleh:

**Arif Tri Kisetyanto**

**C2A214007**

Program Studi S1 Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

Menyetujui :

Tim Pembimbing

Tanggal .....

Ka.Prodi PTSM UNIMUS

**(Rubijanto Juni P. ST., MT.)**

**NIK. 28.6.1026.091**

Pembimbing

Co. Pembimbing

**Drs. H. Samsudi Raharjo ST., MT., MM.**

**NIK. 28.6.1026.028**

**(Rubijanto JP. ST. MT.)**

**NIK. 28.6.1026.091**

## DAFTAR TABEL

2.1	Jenis Komponen Endapan Kerak.....	7
2.2	Klasifikasi pengendapan kerak.....	8
2.3	Endapan Kerak yang Umum Terdapat di Dalam Ladang Minyak .....	9
2.4	Tabel Sistem Kristalisasi .....	10



## DAFTAR GAMBAR

2.1	Endapan kerak dalam pipa .....	4
2.2	Waktu induksi tanpa aditif dan penambahan beberapa aditif terhadap pembentukan kerak .....	13
3.1	Desain prototype <i>Closed Circuit Scale Simulator</i> .....	14
3.2	Diagram Alir Penelitian .....	16
3.3	Skema Closed Circuite Scale Simulator .....	17
3.4	Kupon/sampel.....	20
4.1	Grafik pengaruh alumina Terhadap Massa kerak.....	23
4.2	Grafik Hubungan konduktivitas dengan waktu .....	25
4.3	Morfologi Kerak Hasil Percobaan.....	26



## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SEM = *Scaning Elektronik Mikroskop*

$\alpha$  = Alfa

$\beta$  = Beta

$\gamma$  = Gama

$\mu s$  = Microsimen

$V$  = kecepatan (rata-rata) fluida yang mengalir (m/s)

$D$  = diameter dalam pipa (m)

$\rho$  = masa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  = viskositas dinamik fluida ( $\text{kg/m.s}$ ) atau ( $\text{N. det/ m}^2$ )



## SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Arif Tri Kisetyanto  
NIM : C2A214007  
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin  
Jenis Penelitian : TA / Tugas Akhir  
Judul : PENGENDALIAN KERAK  $\text{CaCO}_3$  MENGGUNAKAN ALUMINA 10% PADA KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm DALAM PIPA

Dengan ini menyatakan bahwa saya menyetujui untuk :

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

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

Semarang, September 2016

Yang Menyatakan,



Arif Tri Kisetyanto

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arif Tri Kisetyanto

NIM : C2A214007

Judul Tugas Akhir : PENGENDALIAN KERAK  $\text{CaCO}_3$  MENGGUNAKAN ALUMINA 10% PADA KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm DALAM PIPA

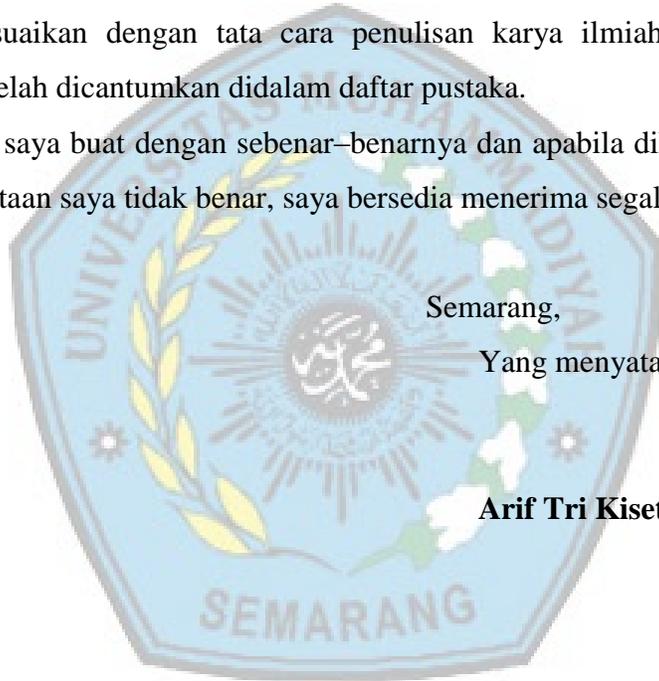
Menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul tersebut belum pernah dipublikasikan dilingkungan Universitas Muhammadiyah Semarang. Tugas Akhir ini saya susun dengan berdasarkan norma akademik dan bukan hasil plagiat. Adapun semua kutipan di dalam Tugas Akhir ini telah disesuaikan dengan tata cara penulisan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

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

Semarang, 2016

Yang menyatakan,

**Arif Tri Kisetyanto**



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....	v
<b>SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI</b> .....	vi
<b>MOTTO</b> .....	vii
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan dan batasan masalah .....	2
1.2.1 Perumusan Masalah .....	2
1.2.2 Batasan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kerak.....	4
2.2 Pembentukan kerak.....	5
2.3 Jenis-jenis kerak dan faktor yang mempengaruhi.....	7
2.4 Kristalisasi.....	9
2.4.1 Sistem Kristal .....	10
2.5 Kerak kalsium karbonat (CaCO <sub>3</sub> ) .....	11
2.6 Waktu Induksi.....	12

2.7	Penambahan Aditif Alumina.....	13
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Bahan Penelitian .....	15
3.2	Alat Penelitian .....	15
3.3	Diagram Alir Penelitian .....	16
3.4	Langkah Penelitian .....	17
3.4.1	Alat Eksperimen Pembentukan Kerak .....	17
3.4.2	Pengujian Alat .....	18
3.4.3	Pembuatan Larutan $\text{CaCl}_2$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .....	19
3.4.4	Persiapan Pipa Uji .....	21
3.5	Pengambilan Data .....	22
3.6	Pengujian SEM .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Pengaruh Alumina Terhadap Massa Kerak .....	24
4.2	Analisa Waktu Induksi.....	25
4.3	Pengujian SEM .....	26
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan .....	28
5.2	Saran .....	28
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>29</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>31</b>

**CONTROL CRUST CaCO<sub>3</sub> USING ALUMINA 10 %  
in CONCENTRATIO Ca<sup>2+</sup> 3000 ppm in The PIPELINE**

**by:**

**Arif Tri Kisetyanto**

**C2A214007**

**Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering  
Universitas Muhammadiyah Semarang  
e-mail:ariftrik5@gmail.com**

**Abstract**

Scaling in piping systems in industry and households raises many technical and economical problems. This is because the crust may cover or clog the water flowing in the pipe and simultaneously inhibit the process of heat transfer equipment heat exchangers. The purpose of this study is to develop tools Scale Closed Circuit Simulator, understanding the mechanisms controlling CaCO<sub>3</sub> crust use 10% alumina in the pipeline and assess the results of the morphology of the crust. The results obtained during testing by reacting CaCl<sub>2</sub> and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> using a solution of 3000 ppm Ca<sup>2+</sup> concentration by measuring the induction time. Results obtained for the induction time is 20 minutes without adding to the value of conductivity 8660 μS/cm, while the addition of alumina 10% conductivity 8598 μS / cm. From the result of SEM shows the morphology of CaCO<sub>3</sub> original crust cuboid into betuk irregular and smaller

Keyword : CaCO<sub>3</sub>, Alumina, Time induction, Scale morphology.

**PENGENDALIAN KERAK  $\text{CaCO}_3$  MENGGUNAKAN ALUMINA 10% PADA  
KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm DALAM PIPA**

Oleh :

**Arif Tri Kisetyanto**

**C2A214007**

**Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Semarang  
e-mail : ariftrik5@gmail.com**

**Abstrak**

Pembentukan kerak pada sistem perpipaan di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis. Hal ini disebabkan karena kerak dapat menutupi atau menyumbat air yang mengalir dalam pipa dan sekaligus menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengembangkan alat *Closed Circuit Scale Simulator*, memahami mekanisme pengendalian kerak  $\text{CaCO}_3$  menggunakan alumina 10% di dalam pipa dan mengkaji hasil morfologi kerak. Hasil yang didapatkan selama pengujian dengan mereaksikan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  menggunakan larutan  $\text{Ca}^{2+}$  berkonsentrasi 3000 ppm dengan pengukuran waktu induksi. Hasil penelitian didapatkan waktu induksi untuk tanpa penambahan adalah 20 menit dengan nilai konduktivitas 8660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sedangkan pada penambahan alumina 10% nilai konduktivitas 8598  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dari hasil SEM menunjukkan bentuk morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$  yang semula berbentuk kubus menjadi betuk yang tidak beraturan dan berukuran lebih kecil.

**Kata Kunci** : Kerak  $\text{CaCO}_3$ , Alumina, Waktu Induksi, morfologi kerak.

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pengerakan kalsium karbonat 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  $\text{CaCO}_3$  (kalsium karbonat) dimiliki hampir semua jenis sumber air di dunia seperti air tanah, air payau, air laut serta air limbah. Kalsium karbonat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan material. Sejauh ini  $\text{CaCO}_3$  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).

Metode mengatasi pembentukan kerak di industri minyak dan gas biasanya dengan menerapkan bahan kimia yang dikenal sebagai *inhibitor* untuk mengontrol pertumbuhan kristalisasi  $\text{CaCO}_3$  dengan tujuan, mengurangi, mencegah atau menunda, pembentukan kerak  $\text{CaCO}_3$ . Inhibitor biasanya diinjeksikan kedalam larutan yang secara kontinyu maupun periodik metode ini mampu mengendalikan proses *nucleation*, pertumbuhan kristal  $\text{CaCO}_3$  yang terjadi pada permukaan pipa dan peralatan lainnya (Sousa dan Bertran, 2014).

Kerak juga dapat dicegah menggunakan aditif logam alumina sebagai *inhibitor* untuk mengontrol *impurity* ion senyawa anorganik serta komposisi morfologi dan fase kristal  $\text{CaCO}_3$  dan mencegah proses *nucleation*, pertumbuhan kristal  $\text{CaCO}_3$  (Wang dkk, 2010). Hal-hal inilah yang mendasari untuk dilakukan suatu penelitian lebih lanjut mengenai inhibitor kerak baru yang lebih efektif yaitu dengan inhibitor alumina.

Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan alumina sebagai *inhibitor* diharapkan mampu menghambat laju pertumbuhan kerak kalsium karbonat yang terbentuk di dalam pipa-pipa industri. Penelitian ini juga mempelajari mengetahui perubahan fasa kristal dan pertumbuhan massa kerak.

## **1.2. Perumusan dan Batasan Masalah**

### **1.2.1. Perumusan masalah**

Pengerakan kalsium karbonat sangat merugikan dalam proses produksi sehingga harus dilakukan usaha untuk menghambat. Langkah untuk menghambat pertumbuhan kerak kalsium karbonat ditambahkan aditif ke dalam larutan. Penelitian ini dilakukan untuk mengendalikan pertumbuhan kerak  $\text{CaCO}_3$  menggunakan alumina 10% pada konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm pada pipa.

### **1.2.2. Batasan masalah**

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan kerak yang dikaji yaitu kerak kalsium karbonat. Pemilihan ini didasari pertimbangan bahwa kerak kalsium karbonat adalah jenis kerak yang paling banyak dijumpai dalam lingkungan dalam industri (Rabizadeh, 2014). Pengerakan kalsium karbonat sangat merugikan dalam proses produksi sehingga harus dilakukan usaha untuk menghambat pembentukannya. Langkah untuk menghambat pertumbuhan kerak kalsium karbonat ditambahkan aditif alumina ke dalam larutan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana proses pembentukan kerak kalsium karbonat dalam pipa pada variasi suhu  $30^{\circ}\text{C}$  dan dihambat dengan aditif berupa alumina 10%.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mengetahui proses pengerakan kalsium karbonat  $\text{CaCO}_3$  di dalam pipa.

2. Mengetahui massa kerak dan waktu induksi akibat penambahan alumina 10%.
3. Mengetahui morfologi kerak  $\text{CaCO}_3$

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental yang hasilnya berupa data empirik tentang fenomena pembentukan kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan proses pencegahan terbentuknya kerak dengan menambahkan aditif alumina. Maka dari itu diharapkan akan memberikan manfaat pada umumnya bagi pengkajian dan pengembangan ilmu tentang kerak pada aspek proses pembentukan dan pencegahannya baik kerak dilingkungan sehari-hari maupun kerak yang muncul dalam industri, khususnya bagi para operator industri yang terkait dengan bidang kerak (seperti *boiler*, *cooling tower* dan *heat exchanger*) bias mendapatkan tambahan sumber informasi dalam menjalankan tugasnya.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kerak

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

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



(a)

(b)

**Gambar 2.1.** Endapan kerak kalsium karbonat (a) dalam Pipa (b) permukaan Heat exchangers (Arif TK dkk, 2016).

## 2.2. Pembentukan kerak

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

Mekanisme pembentukan endapan kerak berkaitan erat dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  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 denganpenurunan 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 membentuksenyawa-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).

## **2.3. Jenis kerak dan faktor yang mempengaruhi pembentukannya**

Ion yang berbentuk padatan dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk endapan kerak antara lain adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), gipsum atau kalsium sulfat

(CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O), dan barium sulfat (BaSO<sub>4</sub>). Endapan kerak yang lain adalah stronsium sulfat (SrSO<sub>4</sub>) yang mempunyai intensitas pembentukan rendah dan kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>), yang biasa terbentuk pada peralatan pemanas, yaitu *boilers* dan *heater traters*, serta kerak dengan komponen besi, seperti *iron carbonate* (FeCO<sub>3</sub>), *iron sulfide* (FeS) dan *iron oxide* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 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 karbonat, kerak sulfat, serta campuran dari keduanya. Sedangkan berdasarkan jenis pengendapannya, klasifikasi kerak dapat dilihat pada **Tabel 2.2** (Siswoyo dan Erna, 2005)

**Tabel 2.1. Jenis komponen endapan kerak.**

Chemical name	Chemical formula	Mineral name
Water soluble scale Nantrium chloride	NaCl	Halite
Acid soluble scale Calcium carbonat Iron carbonat Iron sulfide Iron oxide Iron oxide Magnesium hydroxide	CaCO <sub>3</sub> FeCO <sub>3</sub> FeS <sub>7</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Mg(OH) <sub>2</sub>	Calcite Siderite Trolite Hematite Magnetit Brucite
Acid insoluble scale Calcium sulfat Calcium sulfat	CaSO <sub>4</sub> Caso <sub>4</sub>	Anhydrate Gypsum

**Tabel 2.2. Klafikasi pengendapan kerak**

Jenis	Sifat Utama	Komponen	Reaksi kimia
<b>Hard scale</b>	Umunya berwarna terang, dan apabila terdapat pengotor (minyak atau oksida besi) akan menjadi agak gelap. Hampir tidak larut dalam asam	BaSO <sub>4</sub> , SrSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , dan 2H <sub>2</sub> O	BaCl <sub>2</sub> + Na SO <sub>4</sub> → BaSO <sub>4</sub> ↓ + 2H <sub>2</sub> O SrCl <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub> → SrSO <sub>4</sub> ↓ CaCl <sub>2</sub>
<b>Soft scale</b>	Umunya terang atau agak gelap (jika mengandung pengotor) larutan dalam asam mengandung CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> dengan kandungan MgCO <sub>3</sub> FeCO <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub> CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O FeS dan S	Ca (HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> → CaCO <sub>3</sub> ↓ + CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O
<b>Misc</b>	Tidak mudah larut dalam asam mengandung H <sub>2</sub> S berwarna coklat tua sampai hitam	FeS, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, S	Fe + H <sub>2</sub> S → FeS↓ + HFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 3H <sub>2</sub> S → 2FeS↓

D  
ari  
sekitar  
n  
banyak  
jenis  
kerak  
yang  
dapat  
terbentuk,  
hanya  
sebagian  
kecil

ang seringkali dijumpai pada industri perminyakan. **Tabel 2.3** menunjukkan jenis-jenis kerak yang umum terdapat di lapangan.

**Tabel 2.3. Endapan kerak yang umum terdapat di ladang minyak**

Jenis kerak	Rumus kimia	Faktor yang berpengaruh
Kalsium karbonat (kalsit)	CaCO <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penurunan tekanan</li> <li>• Perubahan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> <li>• Perubahan keasamaan (pH)</li> </ul>
Kalsium sulfat Gypsum (sering)	CaSO <sub>4</sub> . 2 H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahanm tekan dan temperatur</li> </ul>

hemi-Hydrate anhydrite	$\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kandungan garam terlarut</li> </ul>
Barium sulfate Strontium sulfate	$\text{BaSO}_4$ $\text{SrSO}_4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahanm tekan dan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> </ul>
Komponen besi Besi Sulfat Sulfide besi Ferrous hydroxide Rerric hydroxide	$\text{FeCO}_3$ $\text{FeS}$ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ $\text{Fe}_2\text{O}_3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korosi</li> <li>• Kandungan gas terlarut</li> <li>• Derajat keasaman (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).

### 2.4.1 Sistem Kristal

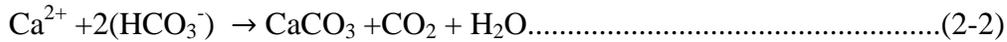
Sistem kristal dapat dibagi ke dalam 7 sistem kristal. Adapun ke tujuh sistem kristal tersebut adalah kubus, *tetragonal*, *ortorombik*, *heksagonal*, *trigonal*, *monoklin*, dan *triklin*. Secara keseluruhan, dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4** Tabel Sistem Kristalisasi

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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> </ul>	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
6.	<i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> </ul>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
7.	<i>Heksagonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> </ul>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
<b>Total</b>	7 Sistem Kristal	14 Kisi Bravais		

## 2.5 Kerak kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>)

Kerak kalsium Sulfat merupakan endapan senyawa CaCO<sub>3</sub> (kalsit) yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca<sup>2+</sup>) dengan ion karbonat (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) ataupun dengan ion biKarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dengan reaksi pembentukan sebagaiberikut :



Faktor ataupun kondisi yang mempengaruhi pembentukan kerak kalsium karbonat 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 CO<sub>2</sub>
- 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).

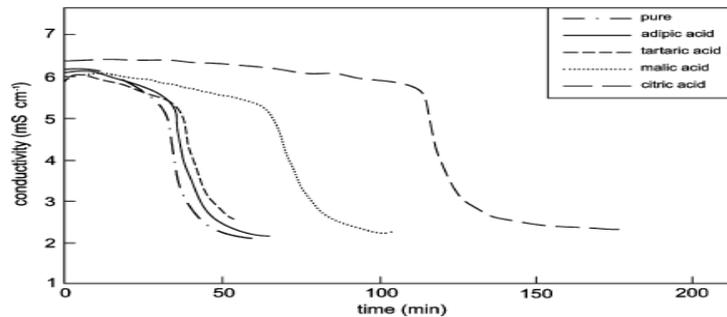
## 2.6 Waktu induksi

Waktu induksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh ion dalam larutan untuk bereaksi sehingga membentuk inti kristal yang pertama kali (isopecus dkk,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).

Sebelum terjadi pengintian garis mempunyai kecenderungan mendatar, setelah terjadi pengintian maka garis akan menurun cukup tajam. Singh dan Middendorf (2007) dalam pengkajiannya menyajikan sebuah diagram tentang hubungan antara konduktivitas dan waktu sebagai berikut :



**Gambar 2.2** Waktu induksi tanpa aditif dan dengan penambahan beberapa aditif terhadap pembentukan kerak gipsum (Singh, N, B.Middendorf, 2007)

## 2.7 Penambahan aditif alumina

Penggunaan aditif untuk zat yang sangat kompleks, sangat penting dalam menyesuaikan kebiasaan kristal serta kemurniannya, ketika pada konsentrasi rendah maka akan mempengaruhi kinetik *nucleation* dan pertumbuhan kristal. Hal ini diasumsikan bahwa aditif berfungsi untuk menghambat pertumbuhan kristal dengan cara memperlambat laju pertumbuhan kristal, meningkatkan nukleasi heterogen, mengendalikan dan menstabilkan endapan *polymorph*. Hal ini mempengaruhi jumlah aditif pada pengendapan garam yang berkaitan dengan adsorpsi pada permukaan. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya kerak yaitu dengan menjaga anion-kation pembentuk kerak tetap berada dalam larutannya. *Scale inhibitor* merupakan suatu bahan kimia yang berfungsi menjaga anion-kation pembentuk kerak tetap berada dalam larutannya, sehingga diharapkan tidak terjadi pengendapan (Reddy dan Hoch,2010).

Penelitian yang dilakukan Martinod dkk (2007) menunjukkan bahwa polymaleic acid dengan konsentrasi 4 ppm mampu mengurangi pembentukan kerak  $\text{CaCO}_3$  pada proses pengintian dan pertumbuhannya. Chen dkk (2004) melaporkan bahwa penambahan aditif mampu menekan terbentuknya vaterite sehingga kerak yang mendominasi berupa calcite.

Penyerapan aditif terlihat pada kristal dan menyebabkan peningkatan kekasaran pada permukaan kristal dan distorsi pada kristal.



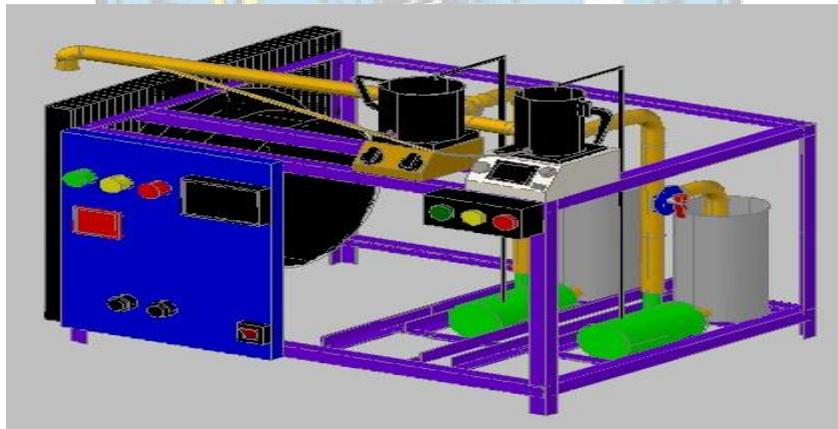
## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan konsentrasi  $\text{Ca}^{+2}$  3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal  $\text{Na}_2\text{CO}_4$  (*Natrium Carboant*) grade : analitik
- Larutan  $\text{CaCl}_2$  dengan konsentrasi  $\text{Ca}^{+2}$  3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal  $\text{CaCl}_2$  (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sebagai aditif dengan persentase 10%.
- Aquades

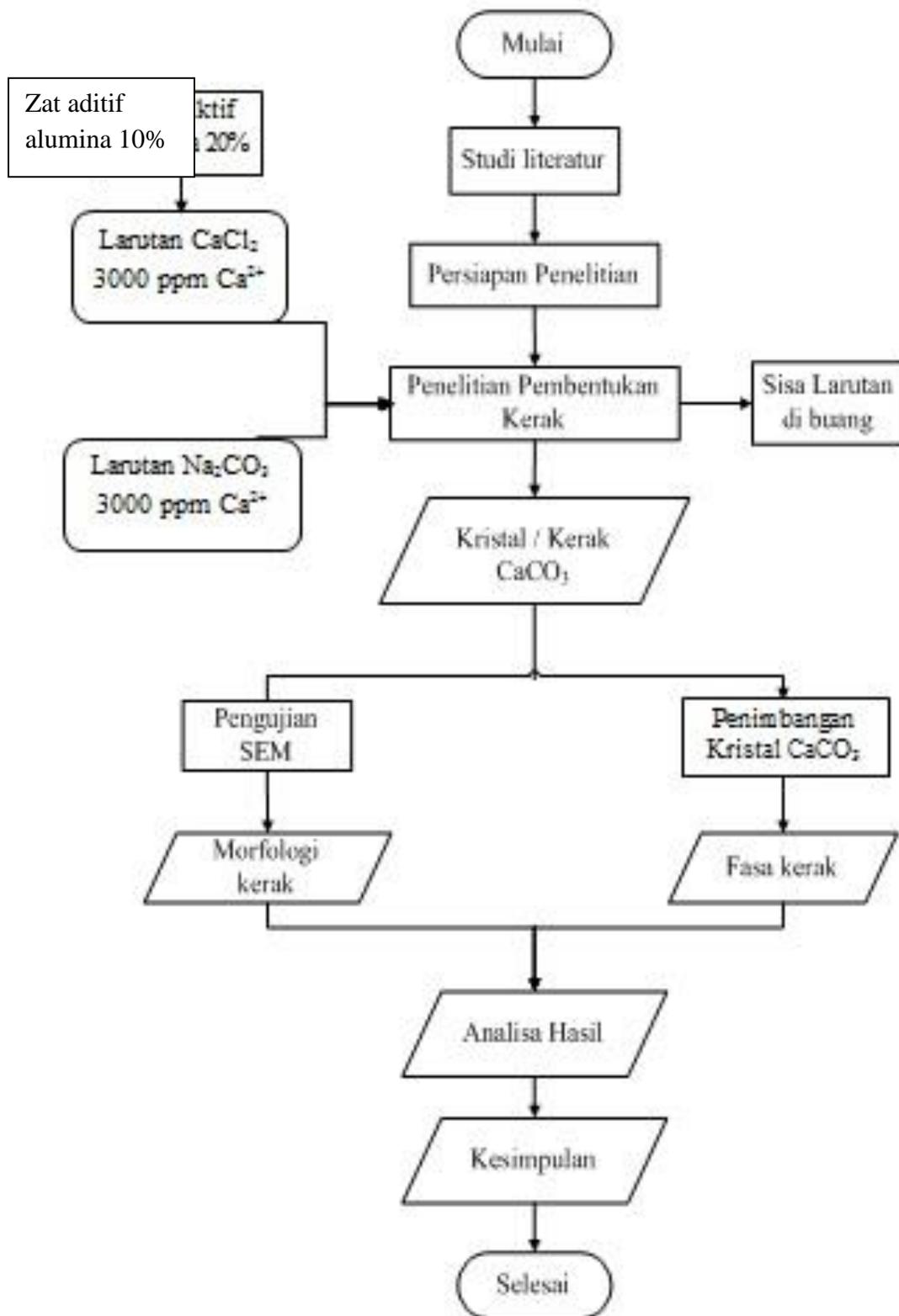
### 3.2. Alat Penelitian



**Gambar : 3.1** Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator*

- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1) Pompa iwaki magnetic | 9) Grafik Panel             |
| 2) Bak penampung        | 10) Lampu Indikator         |
| 3) <i>Bypass</i>        | 11) Temperatur Kontrol      |
| 4) Kran                 | 12) Saklar Heater dan Kipas |
| 5) Pengaduk             | 13) Saklar Pompa            |
| 6) Pipa                 |                             |
| 7) heater               |                             |
| 8) kipas                |                             |
| 9)                      |                             |

### 3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Langkah Penelitian

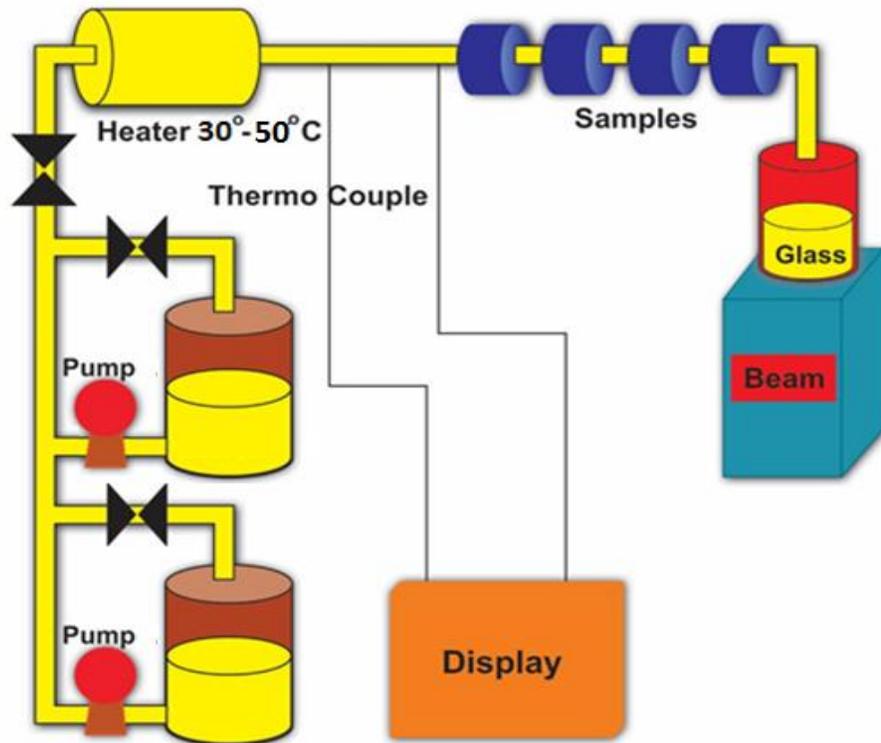
Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pembentukan kerak pada pipa beraliran laminar dengan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut ini :

#### 3.4.1. Alat Eksperimen Pembentukan kerak

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang dirancang sendiri oleh peneliti terdahulu. Alat tersebut terdiri dari empat buah bejana yaitu dua bejana dibawah (1,2) dengan kapasitas 6 liter dan dua bejana diatas ( 3, 4) dengan kapasitas 0,8 liter. Kegunaan bejana tersebut adalah untuk menampung larutan  $\text{CaCl}_2$  pada bejana 1 dan 3 dan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan  $\text{CaCl}_2$  dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dari bejana 2 ke bejana 4. Permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 dijaga agar keduanya mempunyai ketinggian yang sama dan dapat diatur naik atau turun guna mendapatkan perbedaan ketinggian permukaan dengan pengeluaran akhir dari rumah kupon sehingga dapat digunakan untuk mengatur laju aliran.

Larutan yang berada didalam bejana 3 dan 4 kemudian secara bersamaan dialirkan menuju kupon, selanjutnya larutan tersebut mengalir dan masuk kedalam bejana penampungan yang kemudian dibuang sebagai limbah. Didalam kupon-kupon larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak  $\text{CaCO}_3$ .

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



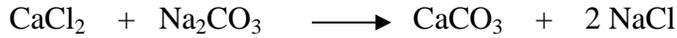
Gambar : 3.3 Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

#### 3.4.2 Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai desain yaitu 30 ml/menit. Pengujian dilakukan dengan cara trial and error sebanyak sepuluh kali dengan mengatur harga  $\Delta h$  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.

### 3.4.3 Pembuatan Larutan $\text{CaCl}_2$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Pembentukan kerak  $\text{CaSO}_4$  pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dibawah ini



Untuk membuat larutan  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 3000 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  dengan laju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 3000 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 $\text{CaCl}_2$ 3000 ppm $\text{Ca}^{2+}$	= 3000 ml
Volume larutan $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 3000 ppm $\text{Ca}^{2+}$	= 3000 ml

Setiap percobaan ada sisa larutan masing - masing ditabung atas sebanyak 800 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 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ yang disiapkan	= 4000 ml

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

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)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  = 105,99 g/mol

3000 ppm  $\text{Ca}^{2+}$  = 3000 mg/ liter

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

$3000 \text{ mg/litert} \times 4 \text{ lt} = 12.000 \text{ mg}$  = 12 gram

Sehingga  $\text{CaCl}_2$  yang dibutuhkan adalah

$(110,98 / 40) \times 12 \text{ gram} = \mathbf{33,294 \text{ gram}}$

Berat atom (BA) Ca = 40 maka  $12 / 40 = 0,3 \text{ mol}$

Karena equimolar maka kristal  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yang dibutuhkan adalah

$0,3 \times 142,01 = \mathbf{42,603 \text{ gram}}$

Dari hasil perhitungan seluruhnya dapat dimasukkan dalam tabel sehingga mudah untuk dijadikan pedoman pada saat pembuatan larutan. Setelah semua perhitungan yang diperlukan untuk pembuatan larutan selesai maka dilanjutkan untuk persiapan pembuatan larutan tersebut. Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam pembuatan larutan adalah *aquades*, kristal  $\text{CaCl}_2$ , kristal  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , serbuk alumina, timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring. Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang kristal  $\text{CaCl}_2$  dan kristal  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal  $\text{CaCl}_2$ . 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  $\mu\text{m}$ . Sebelum digunakan larutan disimpan dalam bejana tertutup agar terhindar dari debu.

Pembuatan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pembuatan larutan  $\text{CaCl}_2$ . Sedangkan untuk pembuatan aditif asam tartrat dilakukan dengan cara

menimbang kristal asam sitrat sesuai dengan hasil perhitungan dan ditambahkan sampai aquades sampai volumenya mencapai 1 liter.

Pembentukan kalsium Sulfat:  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$ . Untuk membuat larutan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 ml/menit.

#### 3.4.4 Persiapan Pipa Uji

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



**Gambar 3.4. Kupon/sampel (Sam, 2016)**

Jumlah kupon ada lima dipasang dari bawah ke atas masuk ke rumah kupon. dimensi kupon adalah; panjang 31 mm diameter luar 20 mm dan diameter dalam 13 mm. Sebelum dipasang pada rumahnya terlebih dahulu kupon dipoles hingga permukaan bagian dalam menjadi kasar dan di ukur kekasarannya. Selanjutnya dicelupkan ke dalam cairan HCl selama 3 menit kemudian dibilas dengan air bersih dan terakhir dibilas dengan aquades. Setelah itu dikeringkan memakai hairdryer, dengan demikian kupon siap dipasang pada rumah kupon.

### 3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data (percobaan) dilakukan dengan penambahan aditif alumina 10%. Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{CaCl}_2$  masing-masing sebanyak empat liter dimasukkan masing-masing ke dalam bejana 1 dan bejana 2. Setelah itu pompa dihidupkan dan larutan naik mengisi sampai batas atas bejana 3 dan bejana 4, kemudian pompa dimatikan. Beberapa saat kemudian pompa dihidupkan kembali dan larutan mulai mengisi kupon, dengan demikian percobaan telah dimulai. 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 dikeringkan dalam oven dengan suhu  $60^\circ\text{C}$  selama dua belas jam. Penimbangan massa kerak dilakukan pada waktu kerak masih menempel pada kupon. Selanjutnya selisih massa kupon dengan kerak dikurangi massa kupon tanpa kerak adalah massa kerak itu sendiri.

### 3.6 Pengujian SEM

Pengujian morphology bisa dilakukan pada instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi 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.

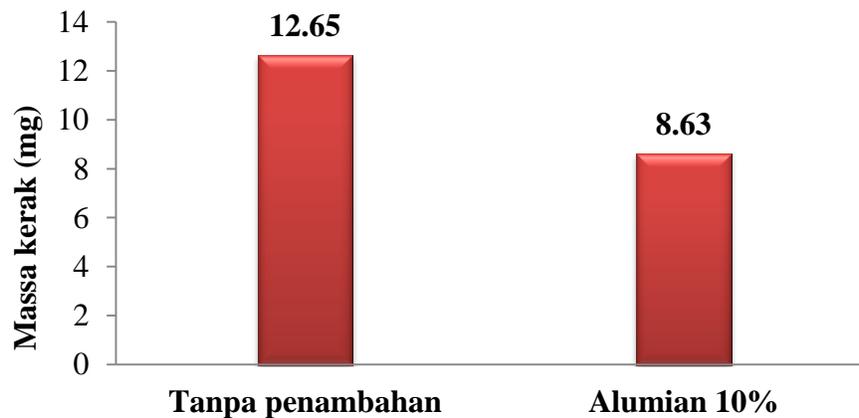
Langkah berikutnya spesimen dimasukkan ke dalam SEM sesuai dengan nomor identifikasi pengambilan fokus. Selanjutnya dilakukan penghisapan udara pada alat tersebut sehingga terjadi kevakuman, Kemudian dilakukan pengambilan gambar, pengaturan resolusi dan ukuran pembesaran dikendalikan melalui *software* 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 Pengaruh Alumina 10% Terhadap Massa Kerak $\text{CaCO}_3$

Alumina ditambahkan dalam proses pembentukan kerak dilakukan dengan tujuan untuk menghambat pertumbuhan kerak. Alumina yang ditambahkan dalam penelitian ini adalah 10%. alumina dipilih sebagai aditif untuk menghambat pertumbuhan kerak karena alumina merupakan logam oksida yang memiliki daya hambat yang kuat terhadap pembentukan kerak. Penelitian dilakukan dengan membandingkan tanpa penambahan zat aditif dan penambahan alumina 10%. Pengaruh penambahan alumina terhadap massa kerak kalsium karbonat ditunjukkan pada Tabel 4.1.



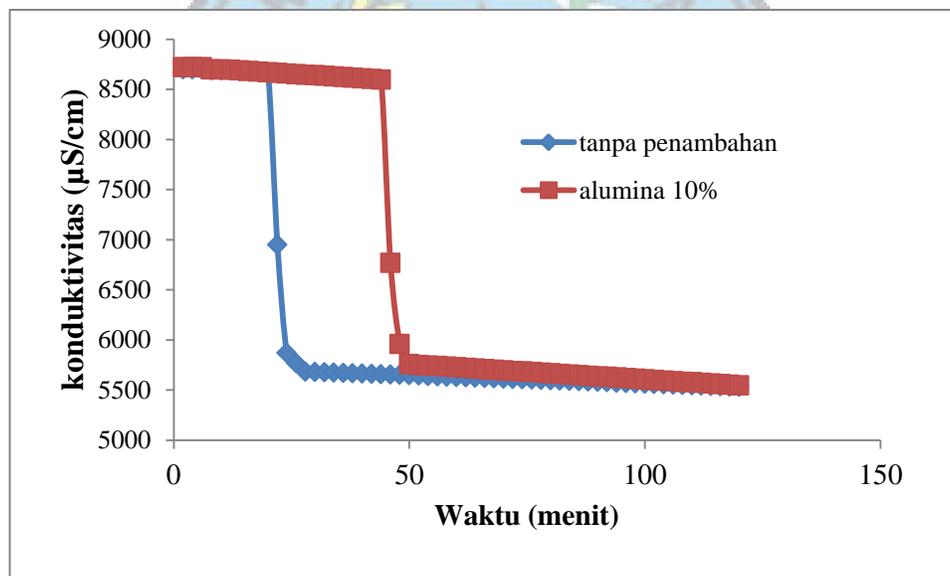
**Gambar 4.1.** Grafik pengaruh alumina 10% terhadap massa kerak

Pada Gambar 4.1, menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa penambahan, massa kerak kalsium karbonat yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan penambahan alumina 10%. Ini menunjukkan pada kondisi penambahan alumina 10%, reaksi antara reaktan  $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  berjalan lebih lambat dibanding dengan tanpa penambahan. Hal

ini disebabkan alumina merupakan logam oksida yang dapat menghambat pembentukan kerak kalsium karbonat dengan cara bereaksi dengan salah satu reaktan atau kedua reaktan ( $\text{CaCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

#### 4.2. 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 karbonat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk penambahan alumina 10% dan tanpa penambahan masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. Grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.



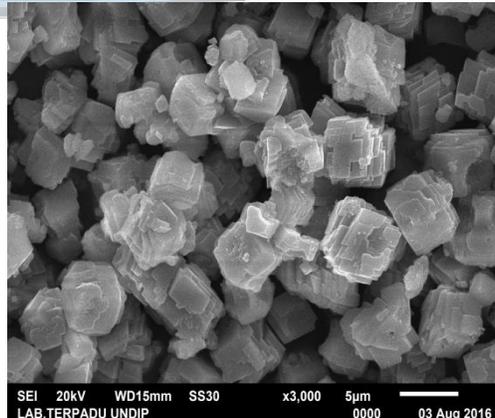
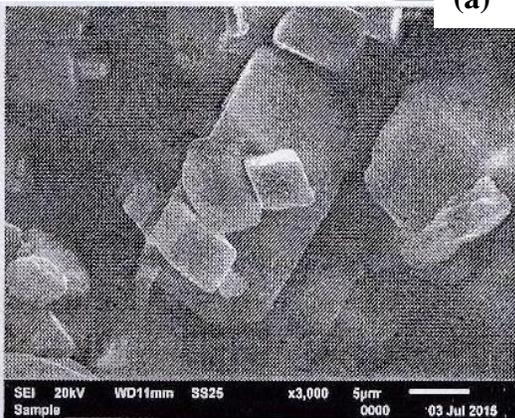
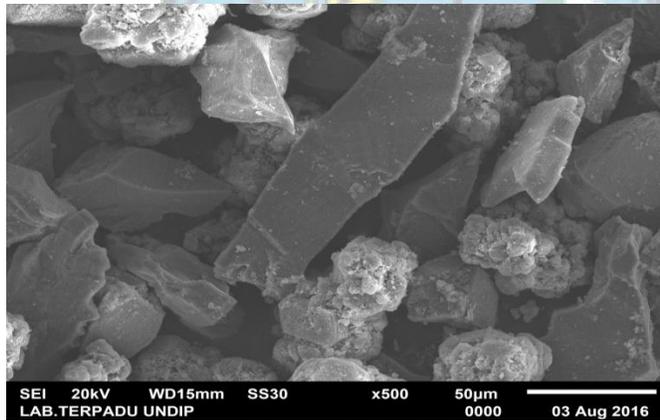
Gambar 4.2 Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian pada penambahan alumina 10% dan tanpa penambah dengan konsentrasi larutan  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm. Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan yaitu menit 20 dan 44, dimana tanpa penambahan nilai konduktivitas larutan 8660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  dan penambahan

asam alumina 10% nilai konduktivitas 8598  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Waktu tersebut merupakan waktu induksi dikarenakan ion larutan mulai bereaksi untuk membentuk inti kristal.

### 4.3 Pengujian SEM

Pengujian morphology bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal untuk membuktikan bahwa ada perubahan morphology kerak akibat penambahan alumina 10%. Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada **Gambar 4.3**.



**Gambar 4.3.** Morfologi kerak kalsium karbonat hasil percobaan (a) Alumina, (b) CaCO<sub>3</sub> tanpa aditif (c) penambahan aditif alumina 10%

Gambar 4.3. menunjukkan hasil uji SEM (a) alumina, (b) tanpa penambahan dan (c) dengan penambahan alumina 10%. Hasil SEM menunjukkan perubahan bentuk kristal dari kubus (tanpa penambahan) menjadi bentuk yang tidak beraturan dan memiliki ukuran lebih kecil. Hal ini disebabkan alumina dapat menghambat pembentukan kerak kalsium karbonat secara mekanik dan kimiawi. Secara mekanik, alumina merupakan serbuk halus yang mampu mengerus kerak kalsium karbonat sedangkan secara kimiawi, alumina dapat bereaksi dengan molekul kalsium karbonat menjadi molekul lain yang lebih mudah untuk dibersihkan (Holysz dkk, 2007).



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

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

1. Penambahan zat aditif alumina 10% memiliki pengaruh yang cukup besar menurunkan pembentukan massa kerak  $\text{CaCO}_3$ . Hasil penelitian menunjukkan massa kerak kalsium karbonat setelah penambahan alumina 10% adalah 8,63 mg sedangkan tanpa penambahan adalah 12.65 gram.
2. Hasil pengujian waktu induksi, diperoleh waktu induksi tanpa penambahan alumina 20 menit dengan nilai konduktivitas 8660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sedangkan pada penambahan alumina 10% adalah 44 menit dengan nilai konduktivitas 8598  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
3. Dari hasil SEM antara tanpa penambahan dan dengan penambahan alumina 10% terlihat perbedaannya adalah bentuk kubus berukuran besar untuk tanpa penambahan sedangkan tanpa penambahan alumina berbentuk tidak beraturan dan berukuran lebih kecil. Hal tersebut karena aditif mampu menempel pada permukaan kristal  $\text{CaCO}_3$  selama proses pertumbuhan kristal sehingga berdampak pada perubahan morfologi kristal  $\text{CaCO}_3$ .

#### **5.2 Saran**

- a. Penelitian kerak  $\text{CaCO}_3$  dapat dilakukan kembali dengan alat penelitian yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), penggunaan aditif yang berbeda (PMA, PCA, HEDP, dll atau dengan ion Mg, Cu, dll) , dengan jenis aliran turbulen, dll.
- b. Penelitian untuk jenis kerak yang lain (seperti kerak barium sulfat, strontium sulfat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.

**DAFTAR HADIR SIDANG TUGAS AKHIR**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG**

Nama : Arif Tri Kisetyanto

NIM : C2A214007

Judul Sidang TA : PENGENDALIAN KERAK  $\text{CaCO}_3$  MENGGUNAKAN ALUMINA  
10% PADA KONSENTRASI  $\text{Ca}^{2+}$  3000 ppm DALAM PIPA

NO	NAMA	NIM	TANDA TANGAN
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Semarang, Agustus 2016

Dosen Pembimbing

(.....)

## LAMPIRAN

### 1. Pengaruh Penambahan Alumina terhadap Massa Kerak

Perlakuan	Massa kerak (mg)
Tanpa penambahan	20
Alumina 10%	44

### 2. Data Hubungan Waktu terhadap Konduktivitas

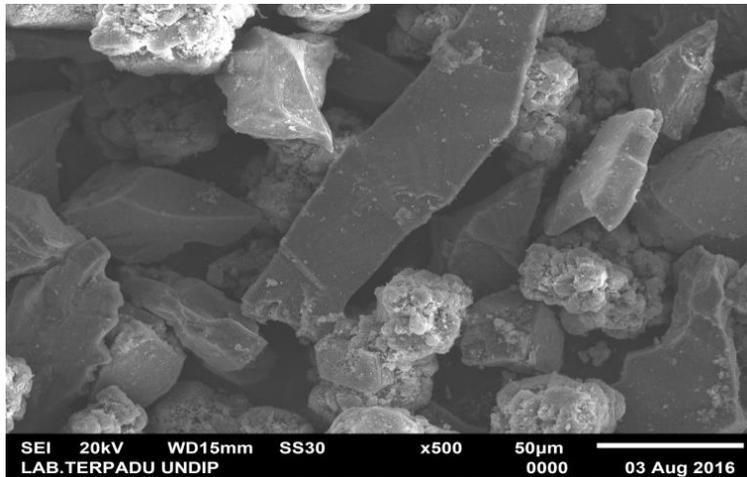
Waktu	Tanpa	10%
2	8700	8720
4	8700	8720
6	8700	8720
8	8690	8700
10	8690	8700
12	8690	8694
14	8680	8688
16	8680	8682
18	8670	8676
20	8660	8670
22	6950	8664
24	5870	8658
26	5770	8652
28	5683	8646
30	5680	8640
32	5677	8634
34	5673	8628
36	5670	8622
38	5667	8616
40	5663	8610
42	5660	8604
44	5657	8598
46	5653	6770
48	5650	5960
50	5647	5758
52	5643	5751
54	5640	5745

56	5637	5739
58	5633	5733
60	5630	5727
62	5627	5721
64	5623	5715
66	5620	5709
68	5617	5703
70	5613	5697
72	5610	5691
74	5607	5685
76	5603	5679
78	5600	5673
80	5597	5667
82	5593	5661
84	5590	5655
86	5587	5649
88	5583	5643
90	5580	5637
92	5577	5631
94	5573	5625
96	5570	5619
98	5567	5613
100	5563	5607
102	5560	5601
104	5557	5595
106	5553	5589
108	5550	5583
110	5547	5577
112	5543	5571
114	5540	5565
116	5537	5559
118	5533	5553
120	5530	5547

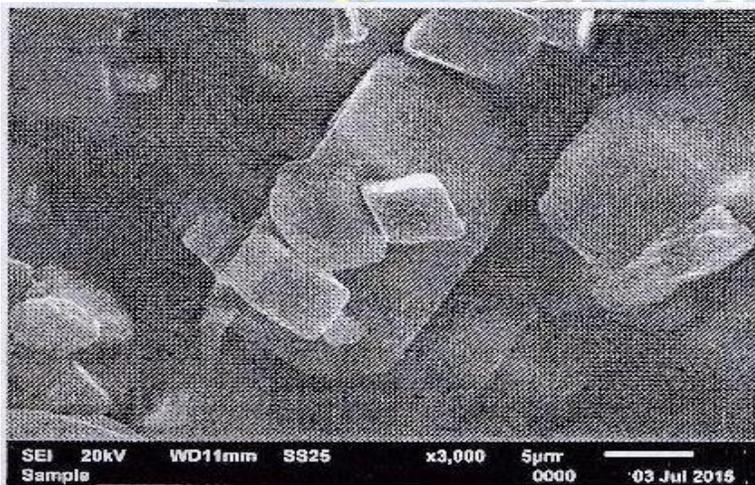


## Hasil SEM

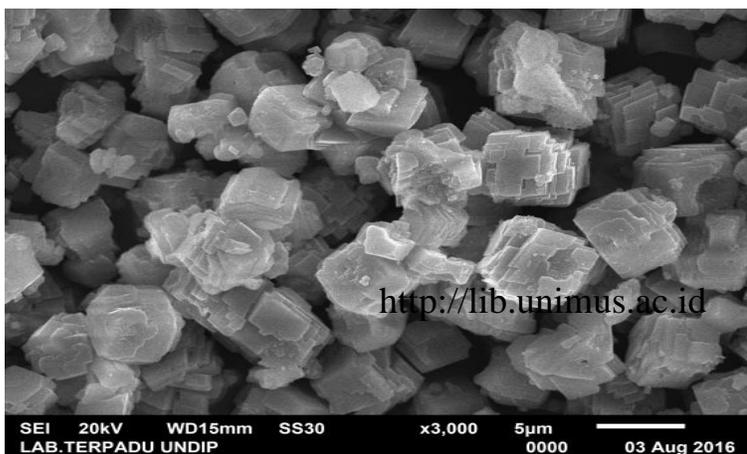
### 1. Alumina



### 2. Tanpa Penambahan Alumina



### 3. Penambahan Alumina 10%



## MOTTO

**“Man Jadda WaJada”**

“Barangsiapa bersungguh-sungguh pasti akan mendapatkan hasil, ”



## PERSEMBAHAN

Atas rahmat dan ridho Allah SWT, karya tugas akhir ini penulis persembahkan untuk:

1. Bapak dan Ibuku tercinta yang selalu memberikan jalan dengan selalu berdoa dan mendorong studyku sampai penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak dan Ibu mertuaku tercinta yang selalu menyemangati, mendoakan, memberikan senyuman dan memberikan fasilitas yang terbaik untuk belajar sampai tugas akhir ini selesai dengan baik.
3. Istriku yang aku cintai yang memberikan semangat, dorongan dan mendoakan selama berkerja dan berkarya untuk mendapatkan yang lebih baik dari hari sebelumnya.
4. Kakak – kakakku dan adik – adikku yang mendoakan dan memberikan dukungan selama perjalanan sampe tugas akhir ini selesai.
5. Teman kuliah seangkatan 2014 yang selalu kompak dari sore hingga malam yang telah mendukungku.
6. Semua rekan-rekan Teknik Mesin yang telah melukis begitu banyak kenangan.
7. Semua Dosen FT yang telah menuntunku dalam revisi.
8. Semua pegawai Universitas Muhammadiyah Semarang di kampus kasipah serta satpam di kampus kasipah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alimi, F., Tlili, M., Amor, M.B., Gabrielli, C., Maurin, G. (2007), *Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation*, Desalination, 206, 163-168.
- Amor, M. B., Zgolli, D., Tlili, M. M., Manzola, A. S. (2004). *Influence of water hardness, substrate nature and temperature on heterogeneous calcium carbonate nucleation*. Desalination, 166, 79-84.
- Antony, A., Low, J. H., Gray, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., Leslie, G. (2011). *Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review*. Journal of Membrane Science, 383, 1-16.
- Asnawati., (2001). *Pengaruh temperatur terhadap reaksi fosfonat dalam inhibitor kerak pada sumur minyak*. Jurnal Ilmu Dasar, Vol.2. No.1, Hal.20-26.
- Han, Y. S., Hadiko, G., Fuji, M., & Takahashi, M. (2005). *Effect of flow rate and CO<sup>2</sup> content on the phase and morphology of CaCO<sub>3</sub> prepared by bubbling method*. Journal of Crystal Growth, 276(3), 541-548.
- Isopescu, R., Mateescu, C., Mihai, M., Dabija, G. (2010). *The effects of organic additives on induction time and characteristics of precipitated calcium carbonate*. Chemical Engineering Research and Design, 88, 1450-1454.
- 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 laminar pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif asam malat*. In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik (Vol. 1, No. 1).
- Ratna, P., S. (2011), *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Sediono, W., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2011). *Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum Dengan Konsentrasi Ca<sup>2+</sup>: 3500 Ppm Dan Aditif Fe<sup>2+</sup>*. Momentum, 7(2).
- 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.

Samsudi R., Muryanto S., Jamari J., Bayuseno, A.P. (2016), Pembentukan Kerak  $\text{CaCO}_3$  Pada Pipa Beraliran Lamina. *Matech Web Convergence*.

