

**PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT DENGAN
MEREAKSIKAN CaCl_2 DAN Na_2SO_4 2500 PPM DAN 3000 PPM
PADA PIPA TEMBAGA DENGAN LAJU ALIR LARUTAN
40ml/menit**



TUGAS AKHIR

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

Disusun oleh:

YEFRIYANTO

C2A010020

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

**PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT DENGAN
MEREAKSIKAN CaCl_2 DAN Na_2SO_4 2500 PPM DAN 3000 PPM PADA
PIPA TEMBAGA DENGAN LAJU ALIR LARUTAN 40ml/menit**

Disusun oleh:

Yefriyanto

C2A010020

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.28.6.1026.02

(Rubijanto Juni P. ST., MT.)

NIK. 28.6.1026.091

**PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT DENGAN
MEREAKSIKAN CaCl_2 DAN Na_2SO_4 2500 PPM DAN 3000 PPM PADA
PIPA TEMBAGA DENGAN LAJU ALIR LARUTAN 40ml/menit**

Oleh :

Yefriyanto

C2A010020

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Semarang

e-mail : yefriyanto727@gmail.com

Abstrak

Kerak merupakan masalah yang sering dihadapi dalam industri pada sistem produksi atau pada sistem air, karena perubahan tekanan, suhu dan pH yang mengganggu keseimbangan ion-ion yang melebihi kelarutannya dan membentuk endapan atau padatan, endapan atau padatan inilah yang disebut kerak. Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengembangkan alat simulasi pembentuk kerak, memahami mekanisme pembentukan kerak CaCO_3 dengan 40 ml/menit didalam pipa tembaga dan mengkaji hasil morfologi, kristalografi dan komposisi kerak. Hasil yang didapatkan selama pengujian dengan mereaksikan CaCl_2 dan Na_2CO_3 menggunakan larutan Ca^{2+} berkonsentrasi 2500 ppm dan 3000 ppm dengan laju alir larutan 40 ml/menit dengan pengukuran waktu induksi. Hasil penelitian didapatkan waktu induksi pada konsentrasi larutan 2500 ppm adalah 38 menit dengan nilai konduktivitas 8020 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sedangkan pada konsentrasi larutan 3000 ppm memiliki waktu induksi 28 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada laju alir larutan tetap 40 ml/menit. Dari hasil SEM dan EDS antara konsentrasi larutan 2500 ppm dan 3000 ppm terlihat bentuk morfologi kubus dengan struktur Kristal *Rombohedral*.

Kata Kunci : Kerak CaCO_3 , Konsentrasi larutan, Waktu Induksi, SEM-EDS.

**THE FORMATION OF A SCALE CALCIUM CARBONATE BY
REACTING CaCl₂ AND Na₂SO₄ 3000 PPM AND 2500 PPM ON A
COPPER PIPE WITH A FLOW RATE OF SOLUTION 40ml/min**

by :

Yefriyanto

C2A010020

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering

Universitas Muhammadiyah Semarang

e-mail : yefriyanto727@gmail.com

Abstract

The scale is a problem often encountered in industry on production systems or to systems of water, due to changes in pressure, temperature and pH that interfere with the balance of ions that exceed the solubility and forms deposits or solids, or sludge solids which is called the scale. The purpose of this research is conducted to develop a scale forming simulation tool, to understand the mechanism of the formation of a scale CaCO₃ with 40 ml/min in the copper pipe and reviewing results of morphology, crystallography and the composition of the scale. The results obtained during testing by reacting CaCl₂ and Na₂CO₃ used a solution of Ca²⁺ concentrate 2500 ppm and 3000 ppm with the solution flow rate 40 ml/min with a measurement time of induction. The research results obtained by induction on the concentration of the solution time 2500 ppm is 38 minutes with a value of conductivity μS/cm while the 8020 on the concentration of a solution of 3000 ppm have a 28 minute induction time value of conductivity μS/cm 8400 on fixed solution flow rate 40 ml/min. From the results of SEM and EDS between 2500 ppm solution concentration and 3000 ppm visible form of morphological cube with crystal structure Rombohedral.

Keywords: Scale of CaCO₃, Concentration, the time of the induction, SEM-EDS.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yefriyanto

NIM : C2A010020

Judul Tugas Akhir : PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT DENGAN MEREAKSIKAN CaCl_2 DAN Na_2SO_4 2500 PPM DAN 3000 PPM PADA PIPA TEMBAGA DENGAN LAJU ALIR LARUTAN 40ml/menit

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,

Penulis,

SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Yefriyanto
NIM : C2A010020
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
Jenis Penelitian : Tugas akhir / Tugas Akhir
Judul : PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT
DENGAN MEREAKSIKAN CaCl_2 DAN Na_2SO_4 2500 PPM DAN 3000 PPM
PADA PIPA TEMBAGA DENGAN LAJU ALIR LARUTAN 40ml/menit

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,

Penulis,

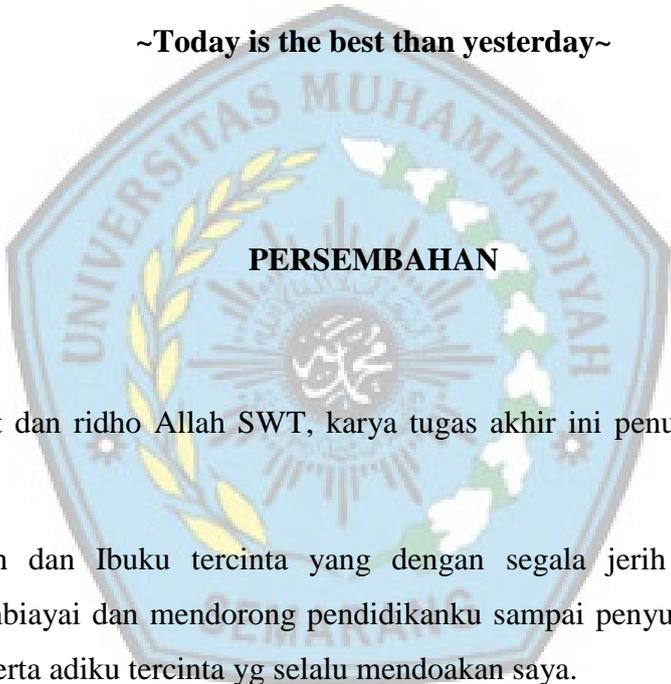
MOTTO

~ Syukurilah apa yang kamu dapatkan karena belum tentu kamu
mendapatkannya lagi~

~ Jika kamu gagal mendapatkan sesuatu, hanya satu hal yang harus kamu
lakukan, coba lagi~

~ Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil tapi berusahalah
menjadi manusia yang berguna "*Einstein*"~

~Today is the best than yesterday~



PERSEMBAHAN

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

1. Ayah dan Ibuku tercinta yang dengan segala jerih payahnya selalu membiayai dan mendorong pendidikanku sampai penyusunan tugas akhir ini serta adiku tercinta yg selalu mendoakan saya.
2. Teman kuliah seangkatan 2010 yang telah mendukungku.
3. Para penghuni Basecamp Teknik Mesin UNIMUS yang senantiasa selalu menemani dalam suka maupun duka.
4. Semua rekan-rekan Teknik Mesin yang telah mensupport selalu.
5. Semua Dosen FT yang telah membimbing dan mendidik saya.
6. Semua pegawai Universitas Muhammadiyah Semarang di kampus kasipah serta satpam di kampus kasipah.

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 “PEMBENTUKAN KERAK KALSIUM KARBONAT DENGAN MEREAKSIKAN CaCl_2 DAN Na_2SO_4 2500 PPM DAN 3000 PPM PADA PIPA TEMBAGA DENGAN LAJU ALIR LARUTAN 40ml/menit”. 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 Universitas Muhammadiyah Semarang dan dosen pembimbing I memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
3. Dr. RM. Bagus Irawan, ST, M.Si, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.
4. Rubijanto Juni P, ST, MT, selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang dan selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan serta nasehatnya.
5. Orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan selalu memberikan motivasi.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2010 atas bantuan dan dukungannya serta semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan 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,
Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI	vi
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Metode penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kerak.....	5
2.2 Pembentukan kerak	6
2.3 Jenis Kerak dan Faktor yang mempengaruhi pembentukan	10
2.4 Kristalisasi.....	11
2.4.1 Sistem Kristal.....	13
2.5 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap pembentukan kerak	14
2.6 Waktu Induksi	14

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Bahan Penelitian	16
3.2	Alat Penelitian	16
3.2.1	Bagian-bagian Alat uji	17
3.2.2	Alat ukur yang digunakan.....	21
3.3	Diagram Alir Penelitian	24
3.4	Langkah Penelitian	25
3.4.1	Alat Eksperimen Pembentukan Kerak	25
3.4.2	Pengujian Alat.....	26
3.4.3	Pembuatan Larutan CaCl_2 , dan Na_2CO_3 ,	26
3.4.4	Persiapan Pipa Uji.....	29
3.5	Pengambilan Data	30
3.6	Pengujian SEM, Microanalyzer (EDX)	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengaruh Laju Alir Terhadap Massa Kerak CaCO_3	35
4.2	Analisa Waktu Induksi	36
4.3	Pengujian SEM	38
4.4	Pengujian EDS	39

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

2.1	Jenis Komponen Endapan Kerak.....	10
2.2	Endapan Kerak yang Umum Terdapat di Dalam Ladang Minyak	11
2.3	Tabel Sistem Kristalisasi	13
4.1	Hasil Analisa mikro Kristal kalsium karbonat laju alir 40 mL/menit dengan konsentrasi 2500 ppm	40
4.2	Hasil Analisa mikro Kristal kalsium karbonat laju alir 40 mL/menit dengan konsentrasi 3000 ppm	40
4.3	Hasil teoritis dengan hasil analisa	42



DAFTAR GAMBAR

2.1	Endapan kerak kalsium karbonat dalam Pipa (Raharjo S.,2016).....	6
2.2	Tahapan Kristalisasi	12
2.3	Kurva penurunan keadaan lewat jenuh menunjukkan kenaikan reaksi kristalisasi.(Mullin, 1993)	15
3.1	Desain prototipe Simulator pembentuk kerak (Raharjo S.,2016)	16
3.2	Saklar Pompa, dan saklar kipas	17
3.3	Monitor grafik panel.....	17
3.4	Lampu indikator	18
3.5	Pompa fluida	18
3.6	Reservoir	19
3.7	Saluran bypass.....	20
3.8	Rumah sampel pengujian	20
3.9	Stopwatch	21
3.10	Gelas ukur	22
3.11	Conductivity meter	22
3.12	Timbangan.....	23
3.13	Diagram Alir Penelitian	24
3.14	Skema Closed Circuite Scale Simulator	26
3.15	Kupon	29
3.16	JEOL JED 2300 SEM <i>microanalyzer</i> (http://www.jeol.com/)	32
4.1	Grafik Hubungan konsentrasi larutan pada laju alir 40 mL/menit dengan massa kerak kalsium karbonat	35
4.2	Grafik Hubungan konduktivitas dengan waktu	37
4.3	Morfologi Kerak Kalsium Karbonat Hasil Percobaan Variasi konsentrasi larutan (a) 2500 ppm (b) 3000 ppm	38
4.4	Gambar Hasil Analisis EDS laju alir 40 mL/menit pada konsentrasi larutan 2500 ppm.....	39
4.5	Gambar Hasil Analisis EDS laju alir 40 mL/menit pada konsentrasi larutan 3000 ppm.....	40

4.6 Analisa EDS CaCO_3 (Barbara dkk, 1999) 42



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SEM = *Scaning Elektronik Mikroskop*

α = Alfa

β = Beta

γ = Gama

μs = Microsimen

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

D = diameter dalam pipa (m)

ρ = masa jenis fluida (kg/m^3)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s) atau (N. det/ m^2)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kerak merupakan masalah yang sering dihadapi dalam industri pada sistem produksi atau pada sistem air, karena perubahan tekanan, suhu dan pH yang mengganggu keseimbangan ion-ion yang melebihi kelarutannya dan membentuk endapan atau padatan, endapan atau padatan inilah yang disebut kerak. Namun definisi dari kerak itu sendiri adalah suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kemmer, 1979). Kerak akan terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh, karena dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung dan membentuk inti kristal. Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Iestari, 2008; Hasson and Semiat, 2005).

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).

Peningkatan laju aliran akan memperpendek periode induksi karena meningkatkan frekuensi pertumbuhan molekul dalam larutan. Tingkat pertumbuhan kristal ditentukan oleh kemampuan difusi zat terlarut ke permukaan kristal dan kemampuan pengendapan zat terlarut di permukaan. Kekuatan yang memudahkan difusi zat terlarut adalah perbedaan konsentrasi zat terlarut antara permukaan kristal dan larutan. Faktor yang perlu

diperhatikan dalam laju difusi zat terlarut adalah laju alir. Laju aliran air dan pH-perlakuan pada perangkat magnet memiliki dampak penting pada jenis nukleasi dan jumlah kalsium karbonat yang diendapkan pada akhir uji pengerakan. Laju aliran dan pH-perlakuan sekaligus laju pengendapan yang semakin tinggi, memperbanyak nukleasi yang terjadi dalam larutan (Alimi dkk, 2007).

Hisyam (2013) menyatakan bahwa dengan meningkatnya laju aliran menyebabkan waktu induksi lebih cepat. Hal tersebut karena selain membawa komponen kerak lebih banyak dalam fluida, laju alir yang tinggi menyebabkan ion bergerak lebih cepat yang berdampak semakin cepat pula reaksi yang terjadi antar ion.

Oleh karena itu, pada penelitian ini mempelajari tentang pengaruh jumlah konsentrasi larutan Ca^{2+} pada CaCl_2 dan Na_2SO_4 terhadap pembentukan kerak CaCO_3 , sehingga pertumbuhan kerak kalsium karbonat yang terbentuk di dalam pipa-pipa industri dapat diketahui. Penelitian ini juga mempelajari perubahan fasa kristal dan pertumbuhan massa kerak.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui proses pengerakan kalsium karbonat di dalam pipa.
2. Mengetahui pengaruh larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 pada konsentrasi larutan 2500 ppm Ca^{2+} dan 3000 ppm Ca^{2+} dalam laju alir larutan 40 mL/menit terhadap pembentukan kerak CaCO_3 .
3. Mengetahui morfologi, kristalografi, dan komposisi kimia dari kerak CaCO_3 melalui uji SEM dan EDX.

1.3 Manfaat penelitian

Manfaat yang duharapkan peneliti adalah :

1. Menjadi kajian tentang experimental pembentukan kerak CaCO_3 yang hasilnya berupa data tentang fenomena pembentukan, proses pencegahan untuk mengontrol pembentukan kerak kalsium karbonat dengan menggunakan alat uji *close circuit scale simulator*.

2. Memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu tentang kerak pada aspek pembentukan dan pencegahannya baik dilingkungan sehari-hari maupun dalam industri yang pada umumnya menjadi masalah yang serius di Indonesia, khususnya bagi para operator industri yang terkait dibidang kerak untuk menjadikan tambahan sumber informasi dalam menjalankan tugasnya.

1.4 Pembatasan Masalah

Mengingat dalam penelitian ini agar diharapkan untuk dapat memperjelas masalah tentang kerak yang akan dikaji, maka penulis membatasi bahasan permasalahan tentang :

1. pergerakan kalsium karbonat yang sangat merugikan dalam industri dan proses produksi sehingga harus dilakukan usaha untuk mengetahui pembentukan dan pertumbuhan kerak kalsium karbonat.
2. Penggunaan alat uji dengan alat simulator kerak siklus tertutup (*closed circuit scale simulator*), sehingga diasumsikan tidak adanya pengaruh dari luar alat tersebut.
3. Bahan larutan yang digunakan adalah kalsium karbonat dengan konsentrasi larutan 2500 ppm Ca^{2+} dan 3000 ppm Ca^{2+} .
4. Bahan sampel yang diuji menggunakan pipa jenis tembaga (Cu).
5. Kecepatan laju alir larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 adalah 40 ml/menit.

1.5 Metode Penelitian

Dalam menyusun Tugas Akhir ini penulis melakukan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian antara lain adalah :

1. Studi pustaka
Studi pustaka yang guna dilakukan dengan mencari referensi tentang kajian yang dilakukan peneliti pada pembuatan kerak kalsium karbonat dengan bahan komposisi larutan CaCl_2 dan Na_2SO_4 pada pipa tembaga.
2. Eksperimen

Dalam metode ini meliputi persiapan bahan yang dibutuhkan untuk membuat perancangan dan pembuatan alat simulasi kerak serta bahan yang akan di uji.

3. Dokumentasi

Pengumpulan data dari hasil uji yang didapatkan yang berupa catatan atau gambar yang ada sehingga penguji memperoleh petunjuk dalam penyusunan laporan.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan laporan penulis menyajikan dalam bentuk bab yang diuraikan dalam sub bab yang ada agar mempermudah gambaran-gambaran mengenai permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan laporan tugas akhir, maka penulisan laporan ini diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN yang berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah, metode penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA berisi tentang devinisi kerak serta pembentukannya, jenis-jenis dan faktor yang mempengaruhi pembentukannya, kristalisasi, pengaruh konsentrasi larutan terhadap pembentukan kerak, kemudian waktu induksi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN berisi tentang pembahasan dan kerangka penelitian, persiapan penelitian, pembuatan alat, percobaan, pengujian, analisa data, dan tabel pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN terdiri dari gambaran umum tentang hasil pengujian dan cara mengolah data analisa pengujian menggunakan teori-teori yang ada yang disajikan dalam grafik pengaruh laju alir terhadap masa kerak kalsium karbonat, perhitungan masa kerak, analisa waktu induksi, hasil pengujian SEM dan EDX.

BAB V PENUTUP yang berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian. Yang bertujuan untuk memberikan masukan-masukan kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN sebagai pelengkap dan pendukung dalam penulisan laporan tugas akhir.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kerak

Pengerakan adalah proses alami yang terjadi karena adanya reaksi kimia antara kandungan-kandungan yang tidak dikehendaki yang terdapat dalam air. Kandungan yang dimaksudkan meliputi alkalin, kalsium, klorid, sulfat, nitrat, besi, seng, tembaga, fosfat, aluminium dll.

Kerak akan terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh, karena dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung dan membentuk inti kristal. Kesadahan merupakan sifat air yang disebabkan oleh adanya ion-ion atau kation logam. Salah satu penyebab kesadahan adalah Ca^{2+} . Kalsium dalam air inilah yang cenderung membentuk garam dengan karbonat atau bikarbonat. Bila dididihkan bikarbonat akan berubah menjadi karbonat yang lebih kecil nilai kelarutannya. Oleh sebab itu kelebihan ion kalsium dapat mengakibatkan pembentukan kerak pada pipa yang disebabkan oleh endapan kalsium karbonat (CaCO_3).

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



Gambar 2.1. Endapan kerak kalsium karbonat dalam Pipa (Raharjo S.,2016)

2.2. Pembentukan kerak

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

Mekanisme pembentukan endapan kerak berkaitan erat dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} dan CO_3^{2-}). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses kelarutan. Kelarutan didefinisikan sebagai batas suatu zat yang dapat dilarutkan dalam zat pelarut pada kondisi fisik tertentu. Proses terlarutnya ion-ion dalam air

formasi merupakan fungsi dari tekanan, temperatur serta waktu kontak antara air dengan media pembentukan (Ratna, 2011).

Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi yang dimana air ini adalah air yang ikut bersama dengan minyak dan gas. air ini banyak mengandung bermacam-macam garam dan asam, terutama NaCl yang dapat menyebabkan kerak. Air ini biasanya disebut dengan *oil field water* atau *connate water* atau *inertial water*. 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).

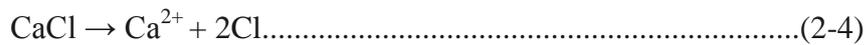
Dalam proses produksi, perubahan kelarutan terjadi seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama produksi. Perubahan angka kelarutan pada tiap zat terlarut dalam air formasi akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air formasi, sehingga akan terjadi reaksi kimia antara ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dengan membentuk senyawa endapan yang berupa kristal (Ratna, 2011).

Kerak kalsium karbonat merupakan endapan senyawa CaCO_3 (kalsit) yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dengan ion karbonat (CO_3^{-2}) ataupun dengan ion bikarbonat (HCO_3^-), dengan demikian naiknya pH akibat lepasnya CO_2 ke fasa gas maka akan terjadi reaksi kesetimbangan pembentukan kerak CaCO_3 dengan reaksi sebagai berikut :



Model kesetimbangan diatas berjalan lambat, atau dikenal sebagai sitem larutan calco carbonic yang banyak digunakan oleh peneliti untuk memodelkan fenomena pembentukan kerak pada air sadah. Adapun model larutan lain yang digunakan oleh banyak peneliti dan mengamati pembentukan CaCO_3 adalah dengan mencampurkan larutan Na_2CO_3 dengan reaksi sebagai berikut





Proses pembentukan CaCO_3 ini berjalan spontan terutama pada fasa larutan. Pembentukan CaCO_3 dapat terjadi di fasa larutan (homogeneous precipitation) dan di fasa permukaan (heterogeneous precipitation). Bahwa pada kesadahan rendah ($\text{Ca}^{2+} < 80 \text{ ppm}$) pembentukan CaCO_3 lebih banyak terjadi di permukaan, sedangkan kenaikan suhu lebih mendorong terjadinya presipitasi ke fasa larutan.

Mekanisme pembentukan kristal CaCO_3 larutan merupakan proses yang kompleks, dimulai dengan nukleasi partikel CaCO_3 yg sangat kecil membentuk CaCO_3 amorphous, $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ikaite) dan $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (monohydrate). CaCO_3 hidrat ini bersifat meta-stabil dan mudah terputus lagi menjadi ion-ion hidratnya. Selanjutnya CaCO_3 hidrat akan terdehidrasi menjadi CaCO_3 padat yang stabil CaCO_3 amorf yang bersifat tidak stabil akan bertransformasi (rekristalisasi) membentuk kristal vaterit yang berbentuk bola dan kalsit yang berbentuk kotak. Kristal vaterit bersifat metastabil dan akan bertransformasi lebih lanjut menjadi kalsit terutama pada suhu $20 - 30^\circ \text{C}$. Untuk suhu diatas 60°C akan terbentuk Kristal aragonit yang bersifat mudah lepas dari dinding pipa (soft scale). Kristal Kalsit merupakan jenis kerak yang sangat stabil menempel di dinding pipa (hard scale) dan banyak terdapat pada berbagai peralatan pipa dan alat penukar panas. Pembentukan kristal CaO_3 di permukaan menunjukkan mekanisme berbeda. Abdel menggunakan larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 mendapatkan bahwa pada 90 menit pertama presipitasi hamper semuanya adalah Kalsit dan setelah itu mulai tampak sejumlah kecil Kristal vaterite (kurang dari 3 %) pada permukaan. Gabrielli dengan menggunakan larutan calcocarbonic mendapatkan bahwa vaterit merupakan jenis kristal yang banyak terbentuk pada fasa permukaan untuk waktu deposit kurang dari 7 menit, sedangkan untuk waktu yang lebih lama (25 menit) struktur kalsit merupakan jenis yang paling banyak terbentuk. Hal ini menunjukkan adanya suatu perbedaan yang signifikan antara mekanisme pembentukan Kristal dilarutan dan di

permukaan dimana presipitasi permukaan akan jauh lebih dominan membentuk kristal kalsit dibanding presipitasi fasa larutan.

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 karbonat akan meningkat dengan :

- meningkatnya temperatur
- penurunan tekanan parsial CO_2
- peningkatan pH
- laju alir
- penurunan kandungan gas terlarut secara keseluruhan

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

Dari penjelasan diatas, faktor yang mendukung pembentukan selama pengendapan kerak yang berpengaruh pada dua faktor penting, yaitu laju pembentukan inti (nukleasi) dan laju pertumbuhan kristal.

1. Pembentukan inti (nukleus)

Laju pembentukan inti tersebut dapat dinyatakan dengan jumlah inti yang terbentuk dalam satuan waktu, yang dimana jika laju pembentukan itu tinggi maka akan banyak sekali kristal yang akan terbentuk yang berupa partikel-partikel kecil. Pada pembentukan inti bergantung pada derajat lewat jenuh dari larutan semakin tinggi derajat lewat jenuh maka akan semakin besar kemungkinan untuk pembentukan inti baru yang pada akhirnya akan membuat semakin besar laju pembentukan inti.

2. Laju pertumbuhan kristal

Laju pertumbuhan kristal merupakan faktor penting lainnya yang mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk selama

pengendapan berlangsung. Semakin tinggi pertumbuhan maka kristal yang terbentuk akan semakin besar. Laju aliran juga bergantung pada derajat lewat jenuh atau bisa disebut juga rekristalisasi (Svehla, 1990).

2.3. Jenis kerak dan faktor yang mempengaruhi pembentukannya

Ion yang berbentuk padatan dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk endapan kerak antara lain adalah kalsium karbonate (CaCO_3), gipsum atau kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dan barium sulfat (BaSO_4). Endapan kerak yang lain adalah stronsium sulfat (SrSO_4) yang mempunyai intensitas pembentukan rendah dan kalsium sulfat (CaSO_4), yang biasa terbentuk pada peralatan pemanas, yaitu *boilers* dan *heater traters*, serta kerak dengan komponen besi, seperti *iron carbonate* (FeCO_3), *iron sulfide* (FeS) dan *iron oxide* (Fe_2O_3), seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 (Ratna, 2011).

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

Tabel 2.1. Jenis komponen endapan kerak.

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

Acid insoluble scale		
Calcium sulfate	CaSO ₄	Anhydrate
Calcium sulfate	CaSO ₄	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

Jenis kerak	Rumus kimia	Faktor yang berpengaruh
Kalsium karbonat (kalsit)	CaCO ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Penurunan tekanan (Ca₂) • Perubahan temperatur • Kandungan garam terlarut • Perubahan keasamaan (pH)
Kalsium sulfat Gypsum (sering hemi-Hydrate anhydrite)	CaSO ₄ · 2 H ₂ O CaSO ₄ · 1/2 H ₂ O CaSO ₄	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Barium sulfat Strontium sulfat	BaSO ₄ SrSO ₄	<ul style="list-style-type: none"> • Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Komponen besi Besi Sulfat Ferrous hydroxide Ferric oxide	FeSO ₄ Fe(OH) ₂ Fe ₂ O ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Korosi • Kandungan gas terlarut • Derajat keasamaan (pH)

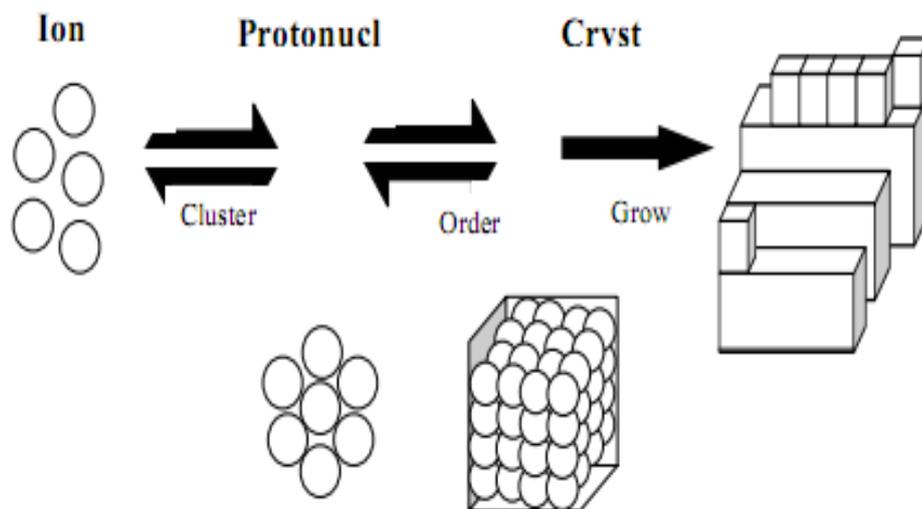
2.4 Kristalisasi

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).

Proses pembentukan kristalisasi ditunjukkan pada gambar berikut (*zeiher et al., 2003*).



Gambar 2.2. Tahapan kristalisasi

Pembentukan kerak merupakan proses kristalisasi yang pada umumnya terdiri dari empat tahap, yaitu :

1. Tercapainya keadaan larutan lewat jenuh (*supersaturation*).
2. Pembentukan inti kristal (bukleasi)
3. Pertumbuhan pada sekeliling inti.
4. Pertumbuhan kristal kecil membentuk kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak) (hasson *and* semiat, 2005).

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 2.3.

Tabel 2.3 Tabel Sistem Kristalisasi

No.	Sistem Kristal	Kisi Bravais	Panjang rusuk	Besar sudut-sudut
1.	Kubus	<ul style="list-style-type: none"> • Sederhana • Berpusat badan 	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

		<ul style="list-style-type: none"> Berpusat muka 		
2.	<i>Tetragonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana Berpusat Badan 	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
3.	<i>Ortorombik</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana Berpusat badan Berpusat muka Berpusat muka A, B, atau C 	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
4.	<i>Monoklin</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana Berpusat muka C 	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$
5.	<i>Triklin</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana 	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
6.	<i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana 	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
7.	<i>Heksagonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> Sederhana 	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
Total	7 Sistem Kristal	14 Kisi Bravais		

2.5 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap pembentukan kerak

Konsentrasi larutan juga berpengaruh terhadap pertumbuhan kerak dan jumlah kerak yang dihasilkan, semakin banyak konsentrasi larutan maka semakin cepat pertumbuhan kerak dan semakin banyak pula jumlah kerak yang dihasilkan begitu pula sebaliknya.

Pada konsentrasi larutan semakin tingginya konsentrasi maka semakin cepat pula terbentuknya pertumbuhan kerak terlihat bahwa laju pembentukan kerak meningkat bersama dengan waktu induksi kalsium karbonat CaCO_3 .

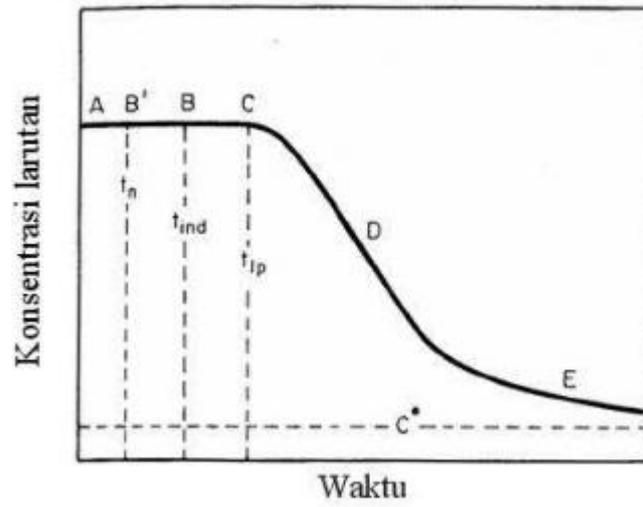
2.7. Waktu induksi

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).

Sebagaimana waktu induksi yang di definisikan sebagai waktu ketika kristal pertama kali terdeteksi dalam suatu sistem, lamanya waktu induksi dapat sangat berbeda tergantung pada teknik yang digunakan. Oleh karena itu, akan lebih mudah menggantinya dengan mencatat waktu laten dari kristalisasi. Waktu laten didefinisikan sebagai titik pada suatu perubahan yang berarti dalam sistem itu, seperti perubahan yang sangat besar dalam laju kristalisasi.

Perbedaan waktu induksi (T_{ind}) dan waktu laten (T_{lp}) dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini. Waktu induksi yang sebenarnya sangat sulit dideteksi secara pasti, karena itu digunakan lamanya waktu laten, karena sangat mudah untuk mendeteksinya dan mengukurnya. Waktu induksi dan waktu laten sangat sensitif, faktor seperti temperatur, guncangan, dan ukuran permukaan bibit, dan area dapat sangat mempengaruhi lamanya waktu (Mullin, 1993)



Gambar 2.3 kurva penurunan keadaan lewat jenuh menunjukkan kenaikan reaksi kristalisasi. (Mullin, 1993)



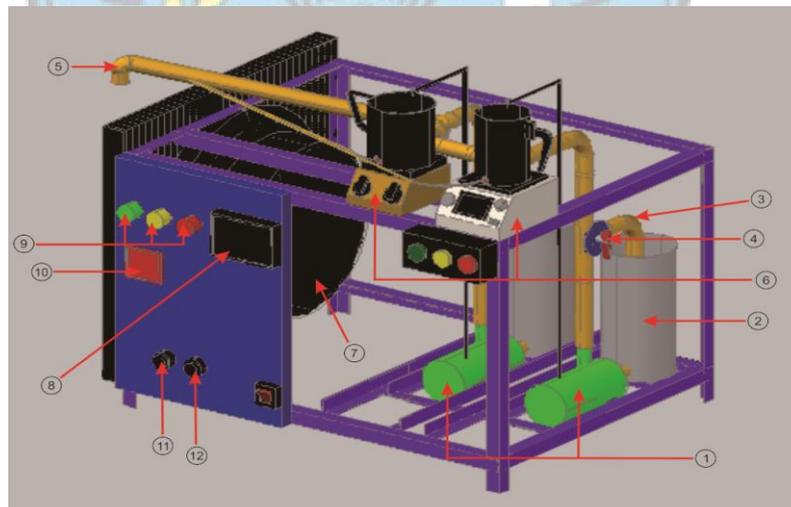
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi Ca^{+2} 2500 ppm dan 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2CO_3 (*Natrium Carboant*) grade : analitik
- Larutan CaCl_2 dengan konsentrasi Ca^{+2} 2500 ppm dan 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal CaCl_2 (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Aquades

3.2. Alat Penelitian



Gambar :3.1Desain prototipe Simulator pembentuk kerak (Raharjo S.,2016)

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

3.2.1. bagian-bagian Alat Uji

1. Saklar pompa

Saklar pompa berfungsi untuk memutuskan dan mengalirkan arus listrik yang menuju pompa. Saklar ini juga dianggap saklar utama yang menjalankan semua sistem alat pengujian.



Gambar 3.2 Saklar Pompa, dan Saklar Kipas

2. Monitor Grafik Panel

Alat yang digunakan untuk pembacaan ataupun perekaman hasil yang ditampilkan dalam bentuk grafik.



Gambar 3.3 Monitor Grafik Panel

3. Lampu indikator

Lampu indikator sebagai penanda yang menunjukkan bahwa bekerjanya sebuah alat yang dijalankan yang mewakili beberapa bagian dari alat-alat pengujian.



Gambar 3.4 Lampu indikator

4. Pompa Fluida

Seperti yang diketahui bahwa fungsi pompa ini sebagai alat untuk mengalirkan fluida cair ketempat yang diinginkan didalam simulasi ini pompa difungsikan untuk mengalirkan cairan CaCO_3 dari bak penampungan larutan cairan CaCO_3 ke rumah sample pengujian.



Gambar 3.5 Pompa Fluida

Spesifikasi pompa fluida yang menggunakan pompa iwaki adalah sebagai berikut:

- *Merk* : Iwaki Magnet 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
- *Outout* : 45 w
- *Power consumption* : 60/80 w
- *Current* : 45 w

5. Reservoir atau bak penampungan

Reservoir atau bak penampungan ini digunakan sebagai wadah campuran dari larutan CaCO_3 sebelum dialirkan oleh pompa fluida yang menuju rumah sample sebagai kelanjutan pengujian



Gambar 3.6 Reservoir

6. Saluran bypass

Saluran by pas yang berperan mengembalikan cairan berlebih yang dikeluarkan oleh pompa. Hal ini yang bertujuan untuk mengurangi tekanan yang diberikan oleh output pompa karena sistem yang hanya memerlukan output yang kecil dari pompa dan bertujuan untuk mencegah terjadinya ledakan pada keran karena tekanan yang berlebih pada keran yang dikarenakan tekanan pompa lebih tinggi



Gambar 3.7 saluran bypas

7. Rumah sample pengujian

Pada rumah sample ini berfungsi sebagai tempat pengujian tebetuknya kerak pada kupon yang telah dimasukan kedalam rumah sample tersebut



Gambar 3.8 Rumah sample pengujian (Raharjo S., 2016)

3.2.2. Alat ukur yang digunakan

1. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk menentukan jeda waktu saat pengambilan data pengujian pada saat melakukan pengambilan data konduktivitas sebuah cairan.



Gambar 3.9 Stopwatch

2. Gelas ukur

Gelas ukur yang berfungsi sebagai besaran volume cairan pada pengambilan data aliran per waktu yang ditentukan. Gelas yang terbentuk dari kaca ini mempunyai ukuran yang menyatakan dengan satuan mililiternya per strip yang tertera dan pembacaan gelas ukur ini menampung cairan dari 10 hingga 100 mL.



Gambar 3.10 Gelas ukur

3. Conductivity meter

Alat yang digunakan untuk menentukan konduktivitas pada cairan. Pengkalibrasian conductivity meter dapat dilakukan dengan pengukuran ke aquades. Karena aquades tidak memiliki ion-ion maka conductivity meter akan menunjukkan angka nol jika alat conductivity meter masih bekerja dengan baik dan akurat.



Gambar 3.11 Conductivity meter

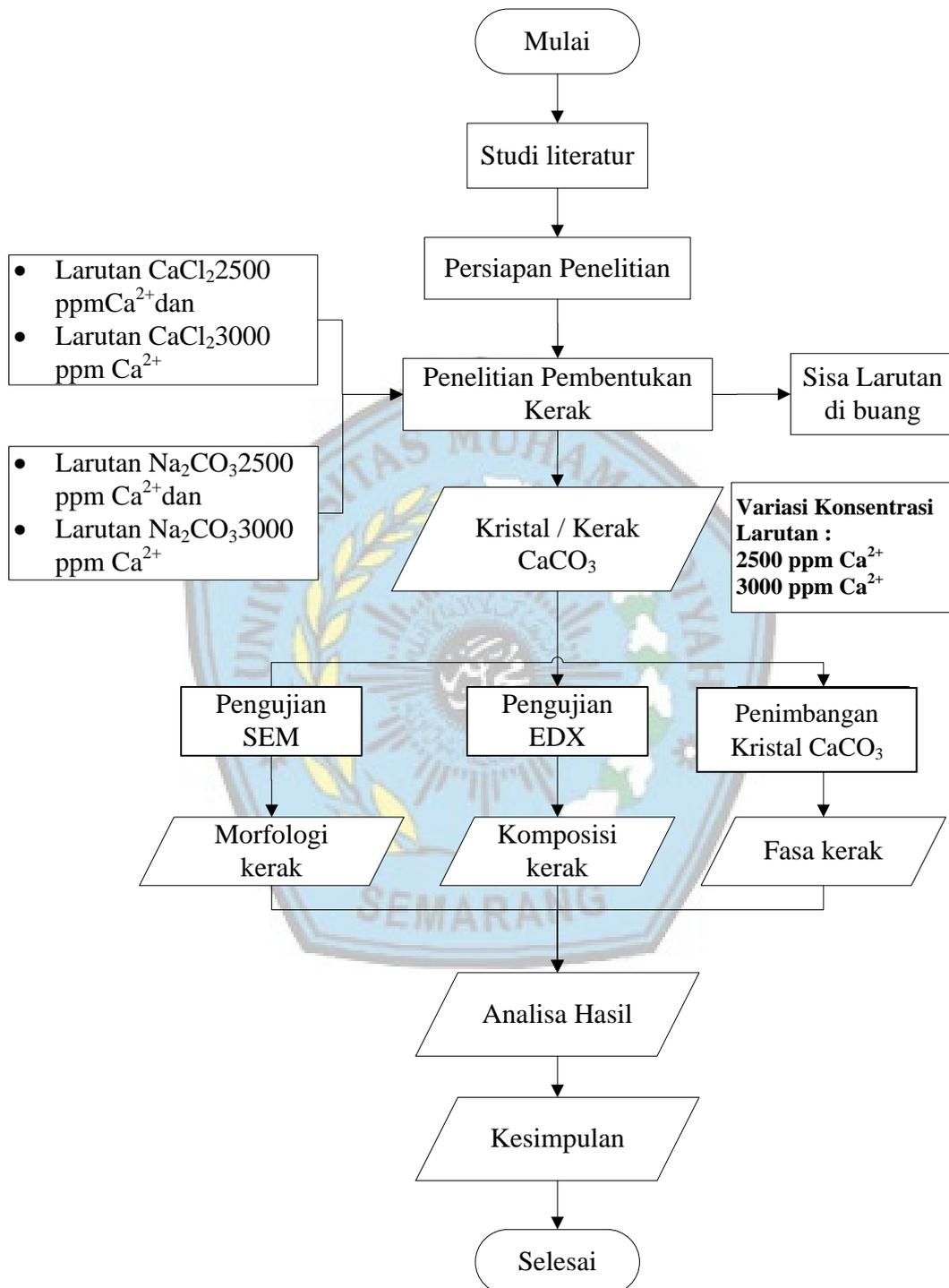
4. Timbangan

Timbangan ini berfungsi sebagai penimbang masa sample uji sebelum dan sesudah di uji. Timbangan yang digunakan pada pengujian ini memiliki akurasi timbangan hingga 0,00001 gram karena memiliki tingkat pengukuran yang sangat presisi dan sangat rendah udara, pada ruangan timbangan harus kedap udara atau dijaga agar ke akurasian pengukuran benar-benar akurat.



Gambar 3.12 Timbangan

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.13. Diagram Alir Penelitian

3.4 Langkah Penelitian

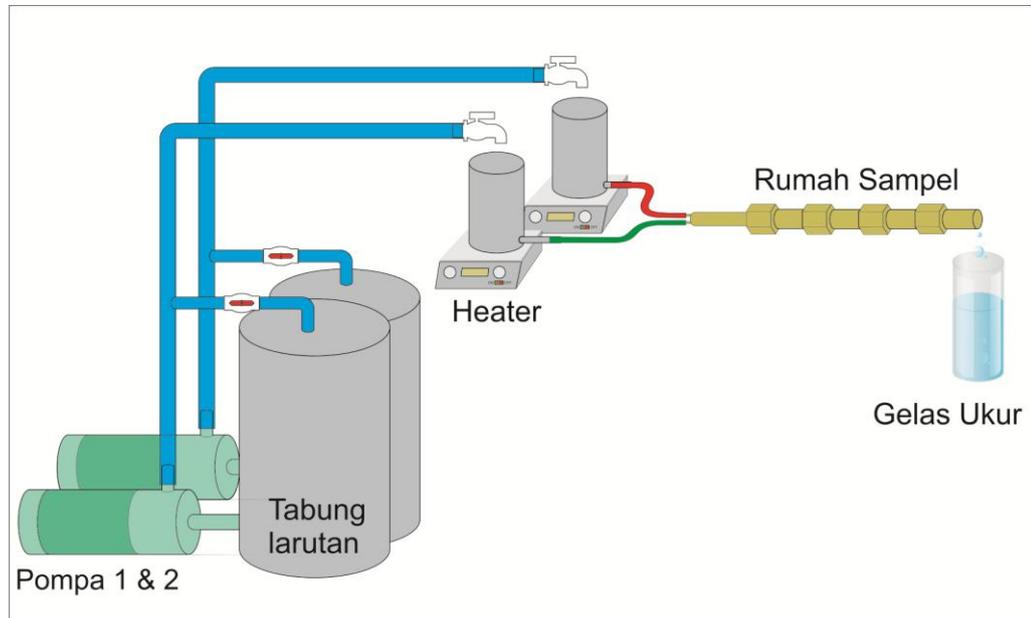
Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pembentukan kerak pada pipa beraliran laminer dengan melalui tahapan tahapan sebagai berikut ini :

3.4.1. Alat Eksperimen Pembentukan kerak

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang di rancang sendiri oleh peneliti terdahulu. Alat tersebut terdiri dari empat buah bejana yaitu dua bejana dibawah (1,2) dengan kapasitas 6 liter dan dua bejana diatas (3, 4) dengan kapasitas 0,8 liter. Kegunaan bejana tersebut adalah untuk menampung larutan CaCl_2 pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na_2CO_3 pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan CaCl_2 dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_2CO_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 CaCl_2 dan Na_2CO_3 bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak CaCO_3 .

Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*



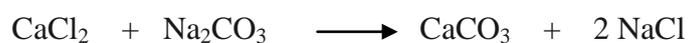
Gambar :3.14 Skema simulator pembentuk kerak (Raharjo S., 2016)

3.4.2 Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai desain yaitu 40 mL/menit dengan 2500 ppm Ca^{2+} dan 3000 ppm Ca^{2+} . Pengujian dilakukan dengan cara trial and error sebanyak sepuluh kali dengan mengatur harga Δh yaitu selisih ketinggian antara permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 terhadap saluran pembuangan limbah atau pengeluaran aliran pada akhir kupon setelah itu dihitung standar deviasinya. Dengan demikian alat yang dibuat mempunyai laju alir yang stabil pada 40 mL/menit.

3.4.3 Pembuatan Larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3

Pembentukan kerak CaCO_3 pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan CaCl_2 dengan Na_2CO_3 dibawah ini



Untuk membuat larutan CaCl_2 dengan Na_2CO_3 pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 2500 ppm Ca^{2+} dan 3000 ppm Ca^{2+} dengan laju alir sebesar 40 mL/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 2500 ppm Ca^{2+} dan 3000 ppm Ca^{2+} .

Cara perhitungan kebutuhan zat dan larutan untuk percobaan dengan 40 mL/menit.

Waktu percobaan	= 1 jam
Laju alir larutan	= 40 mL/menit
Volume larutan yang dibutuhkan (4x60x 25ml)	= 6000 ml
Volume larutan CaCl_2 2500 ppm Ca^{2+} dan 3000 ppm Ca^{2+}	= 3000 ml
Volume larutan Na_2CO_3 2500 ppm Ca^{2+} dan 3000 ppm 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 CaCl_2 yang disiapkan	= 4000 ml
Volume larutan Na_2CO_3 yang disiapkan	= 4000 ml

Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal CaCl_2 dan Na_2CO_3 .

Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 40 ml/menit

Berat molekul (BM) CaCl_2	= 110,98 g/mol
Berat Atom (BA) Ca	= 40
Berat molekul (BM) Na_2CO_3	= 105,99 g/mol

$$2500 \text{ ppm Ca}^{2+} = 2500 \text{ mg/liter}$$

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

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

$$2500 \text{ mg/liter} \times 4 \text{ liter} = 10.000 \text{ mg} = 10 \text{ gram}$$

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

Sehingga CaCl_2 yang dibutuhkan adalah

$$(110,98 / 40) \times 10 \text{ gram} = \mathbf{27,745 \text{ gram}}$$

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

$$\text{Mol CaCl}_2: 27,745 / 110,98 = 0,25 \text{ mol}$$

$$\text{Mol CaCl}_2 : 33,294 / 110,98 = 0,3 \text{ mol}$$

Karena equimolar maka kristal Na_2CO_3 yang dibutuhkan adalah

$$0,25 \times 105,99 = \mathbf{26,497 \text{ gram}}$$

$$0,3 \times 105,99 = \mathbf{31,797 \text{ gram}}$$

Dari hasil perhitungan seluruhnya dapat dimasukkan dalam tabel sehingga mudah untuk dijadikan pedoman pada saat pembuatan larutan. Setelah semua perhitungan yang diperlukan untuk pembuatan larutan selesai maka dilanjutkan untuk persiapan pembuatan larutan tersebut. Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam pembuatan larutan adalah *aquades*, kristal CaCl_2 , kristal Na_2CO_3 , kristal asam sitrat, timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring. Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang kristal CaCl_2 dan kristal Na_2CO_3 sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal 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 μm . Sebelum digunakan larutan disimpan dalam bejana tertutup agar terhindar dari debu. Pembuatan larutan Na_2CO_3 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pembuatan larutan CaCl_2 . Pembentukan kalsium karbonat: $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$. Untuk membuat larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 , dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 40 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 karbonat. Kupon berbentuk pipa yang selanjutnya dikerjakan melalui proses permesinan menjadi bentuk pipa.



Gambar 3.15 Kupon dan Rumah Kupon

Jumlah kupon ada empat dipasang dari bawah ke atas masuk ke rumah kupon. dimensi kupon adalah; panjang 30 mm diameter luar 10 mm dan diameter dalam 9 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 variasi Larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 2500 ppm dan 3000 ppm dengan laju alir 40mL/menit. Larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 masing-masing sebanyak lima 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°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, Microanalyzer (EDS)

Pengujian SEM dan EDS Microanalyzer bisa dilakukan pada instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM-EDS. 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.3.16



Gambar 3.16 JEOL JED 2300 SEM *microanalyzer* (<http://www.jeol.com/>)

Spesifikasi JEOL JED 2300 SEM *microanalyzer*

I :Standard model II :Map model III :Montage model IV :Particle analysis model V :Large area particle analysis model		I	II	III	IV	V	Note	T
	Function							
OS	Microsoft Windows XP or later version							T
	Multi user compatible							T

Operation menu	English										T	
Detector	Select one from the list below	Multi user compatible										T
EDS spectral analysis	Qualitative analysis/Quantitative analysis (ZAF, Thin film)	•	•	•	•	•					T	
	Visual Peak ID (VID)	•	•	•	•	•					T	
	Thin film analysis	•	•	•	•	•					T	
	Chemical type classification, Q base (Spectral matching)	•	•	•	•	•					T	
	Count rate & Dead time real time display	•	•	•	•	•					T	
Report generation	One click report	•	•	•	•	•					T	
	SMile View	•	•	•	•	•					T	
	Exporting to Word or PowerPoint	•	•	•	•	•					T	
Integration	Automatic monitoring of microscope conditions (Magnification, accelerating voltage, and specimen stage position)	•	•	•	•	•			1		T	
	SEM WD monitoring		•	•	•	•				2		
	Analysis initiated on SEM GUI (Set analysis position on SEM monitor)		•	•	•	•				2		
Analysis Assist	The analysis condition is set in the		•	•	•	•					T	

	wizard form							
Analysis Station	Analysis initiated on EDS monitor (Analysis position set on the SEM image on EDS monitor)		•	•	•	•		T
Line analysis	Line analysis, Quantitative line analysis		•	•	•	•		T
	Active map line		•	•	•	•		T
Elemental map	Elemental map (Active map, Map with 3 colors, Probe tracking)		•	•	•	•		T
	High-definition image (4096 3072pixels for SEM/TEM/Elemental map)		•	•	•	•		T
	Eagle Eye		•	•	•	•		T
	Pop up spectrum		•	•	•	•		T
	Quantitative map		•	•	•	•		T
	Residual map		•	•	•	•		T
Elemental map on multiple areas	Graphic display of analysis positions, Navigation, Auto sequential analysis, Pin-point navi, Data archiving			•	•	•	3	
Automatic sequential analysi on multiple areas	Auto montage (SEM image, elemental map)			•		•	3	
	Automatic acquisition of elemental			•		•	3	

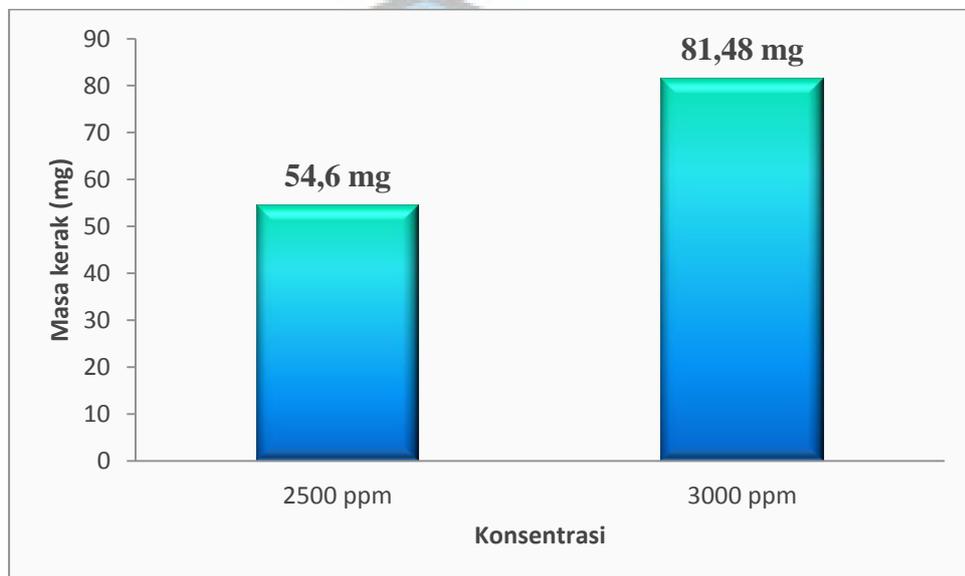
	maps on multiple areas							
Particle Analysis Software2	Particle Analysis and EDS analysis (Auto/manual)				●	●		
	Statistical analysis (Results, particle diameter, area, etc)				●	●		
	Sequential particle & EDS analysis on multiple areas					●	4	
	Particle Finder					●	4	
	Manual review					●	4	
GSR analysis	Automatic Gun shot residue analysis (Specimen for GSR)					●	4,5	
PHI-RHO-Z quantitative analysis	Improved quantitative analysis of light elements	○	○	○	○	○		
Probe current compensation	Monitoring of probe current, compensation for probe current fluctuation	○	○	○	○	○	6	
	Acquisition of user standard	○	○	○	○	○	6	T
Swing mouse	One set of mouse & keyboard control 2 PCs (SEM & EDS)	○	○	○	○	○	7	T
Phase analysis	Automatic phase analysis		○	○	○	○		T
Off line data analysis	Licence software for off line data analysis	○	○	○	○	○		T

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Laju Alir Terhadap Massa Kerak CaCO_3

Penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap massa kerak kalsium karbonat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh laju alir terhadap pembentukan massa kerak kalsium karbonat. Laju alir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 40 mL/menit. Pengaruh konsentrasi terhadap massa kerak kalsium karbonat ditunjukkan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara konsentrasi larutan pada laju alir 40 mL/menit dengan massa kerak kalsium karbonat.

Pada Gambar 4.1, menunjukkan bahwa pada laju alir stabil 40 mL/menit pada konsentrasi larutan 3000 ppm Ca^{2+} , massa kerak kalsium karbonat yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan pada konsentrasi larutan 2500 ppm Ca^{2+} .

Untuk selisih yang terjadi didapatkan dengan nilai sebagai berikut:

$$81,48 \text{ mg} - 54,6 \text{ mg} = 27,02 \text{ mg}$$

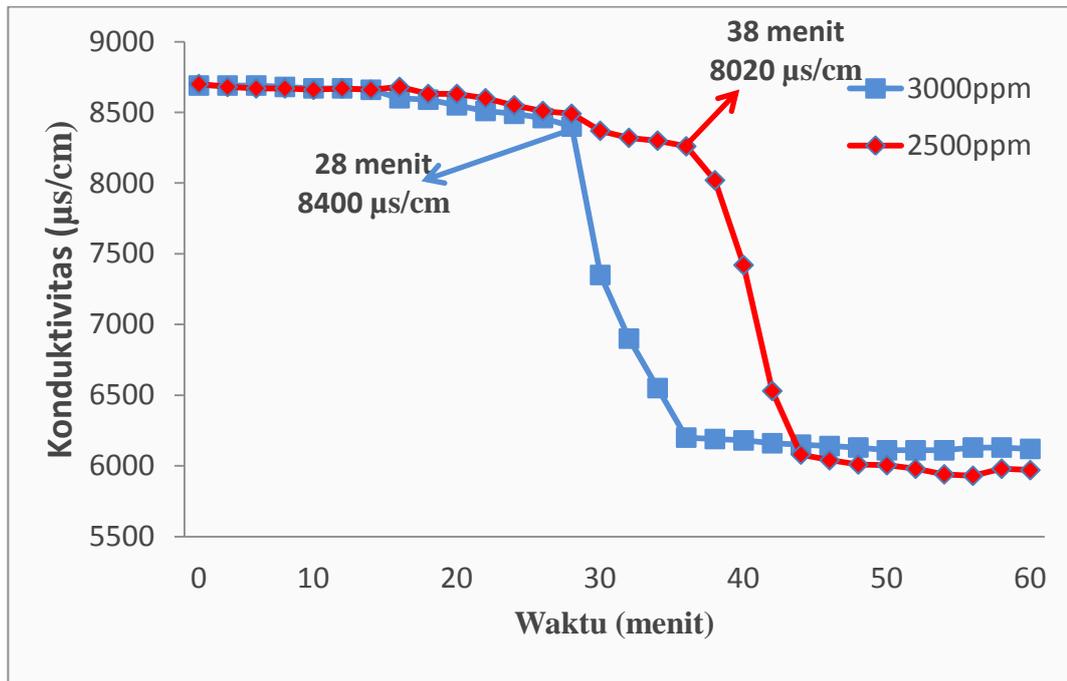
$$\frac{27,02 \text{ mg}}{81,48 \text{ mg}} \times 100\% = 33,16\%$$

Ini menunjukkan pada konsentrasi 3000ppm, reaksi antara reaktan CaCl_2 dan Na_2CO_3 berjalan lebih cepat dibanding pada konsentrasi 2500 ppm. Seperti penelitian yang dilakukan bahwa laju pengendapan kerak meningkat dengan konsentrasi larutan yang lebih banyak mengakibatkan pembentuk kerak menjadi meningkat pada komponen dinding pipa sehingga meningkatkan pengendapan kerak itu sendiri. maka semakin banyak konsentrasi larutan, masa kerak yang terbentuk semakin banyak pula dan mengalami peningkatan sebanyak 33,16%.

Pengaruh lain yaitu bila laju alir semakin besar maka komponen pembentuk kerak yang diangkut semakin besar pula, sehingga memungkinkan terjadinya peningkatan jumlah kerak.

4.2 Analisa Waktu Induksi

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh senyawa kalsium karbonat 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 laju alir 40 mL/menit masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.

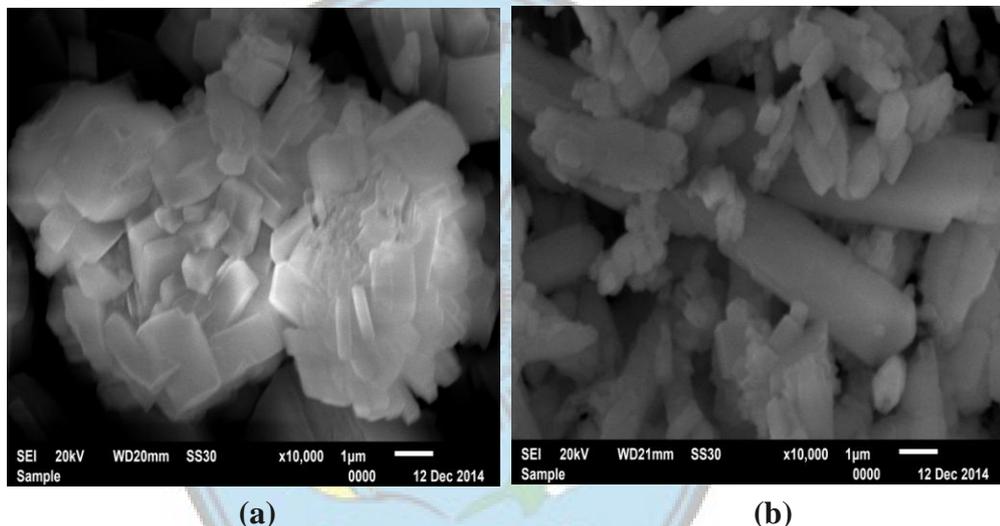


Gambar 4.2 Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian variasi laju alir 40 mL/menit pada 2500 ppm dan 3000 ppm. Pada waktu tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 2500 ppm adalah 38 menit dengan nilai konduktivitas 8020 $\mu\text{S/cm}$ sedangkan pada konsentrasi larutan 3000 ppm memiliki waktu induksi 28 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8400 $\mu\text{S/cm}$. Nilai waktu induksi pada konsentrasi larutan 2500 ppm lebih rendah dari pada konsentrasi larutan 3000 ppm. Hal ini menunjukkan proses pembentukan inti kristal pada laju alir 40 mL/menit lebih pada 3000 ppm cepat dibandingkan pada larutan 2500 ppm. Semakin banyak larutan Ca^{2+} , semakin cepat pula waktu induksi yang terjadi. Semakin lama waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal CaCO_3 terbentuk. Selain membawa komponen pembentuk kerak lebih banyak dalam fluida, laju alir yang tinggi memungkinkan ion bergerak lebih cepat yang berdampak semakin cepat pula reaksi yang terjadi antar ion (Muryanto dkk, 2014).

4.3 Pengujian SEM

Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM-EDS. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal dan pengujian XRD untuk membuktikan bahwa kerak dari hasil penelitian itu betul-betul kerak kalsium karbonat (CaCO_3). 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 dengan variasi konsentrasi larutan (a) 2500 ppm (b) 3000 ppm.

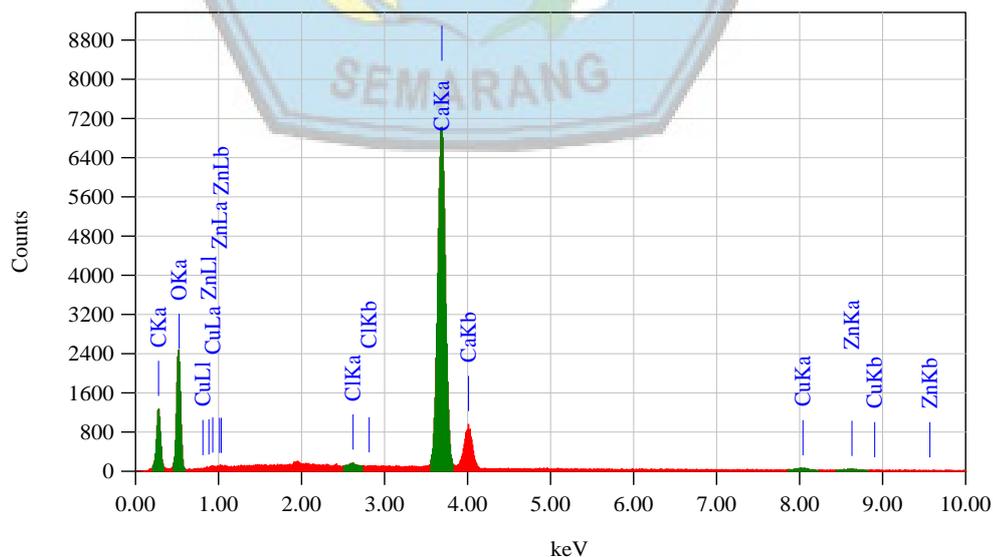
Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.3 dengan perbesaran 10.000 kali. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan CaCO_3 2500 ppm dan 3000 ppm dengan laju alir 40 mL/menit. Gambar (a) merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi dengan konsentrasi larutan 2500 ppm sedangkan Gambar (b) merupakan hasil uji kristalisasi pada konsentrasi larutan 3000 ppm, pada gambar tersebut terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah kalsit. Perbedaan morfologi antara 2500 ppm dan 3000 ppm adalah bentuk kristal konsentrasi

larutan 3000 ppm lebih besar dan banyak dibandingkan dengan pada konsentrasi larutan 2500 ppm. Fase kalsit kerak kalsium karbonat memiliki bentuk kristal *rombohedral*.

Dari kedua hasil uji SEM tersebut menandakan bahwa laju alir yang lebih besar mampu meningkatkan pembentukan fasa kalsit 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 karbonat yaitu valerite dan aragonite, merupakan jenis *softscale* yang lebih mudah dibersihkan apabila menempel pada dinding dalam pipa (Holysz dkk, 2007).

4.4 Pengujian EDS

Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*). Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada laju alir 40 mL/menit pada 2500 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.4.

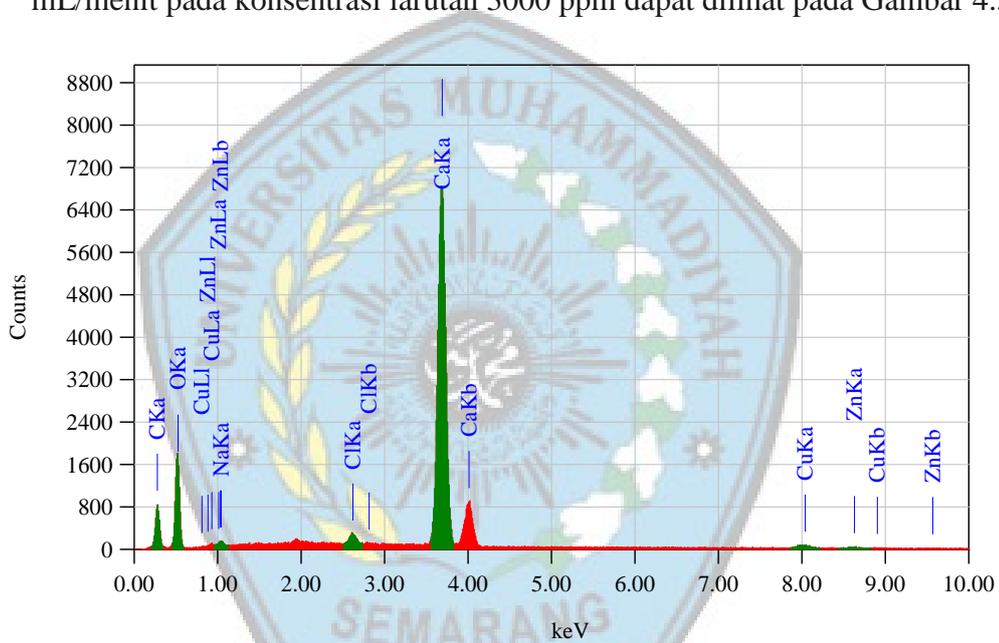


Gambar 4.4. Gambar Hasil Analisis EDS laju alir 40 mL/menit pada konsentrasi larutan 2500 pmm

Tabel 4.1. Hasil analisa mikro kristal kalsium karbonat laju alir 40 mL/menit dengan konsentrasi 2500 ppm.

Element	Wt %	At%
<i>C K</i>	19,97	29,47
<i>O K</i>	53,15	58,89
<i>Ca K</i>	25,19	11,14

Sedangkan untuk Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada laju alir 40 mL/menit pada konsentrasi larutan 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5. Gambar Hasil Analisis EDS laju alir 40 mL/menit pada konsentrasi larutan 3000 pmm

Tabel 4.2. Hasil analisa mikro kristal kalsium karbonat laju alir 40 mL/menit dengan konsentrasi 3000 ppm.

Element	Wt %	At%
<i>C K</i>	16,83	26,16
<i>O K</i>	50,26	58,66
<i>Ca K</i>	29,63	13,80

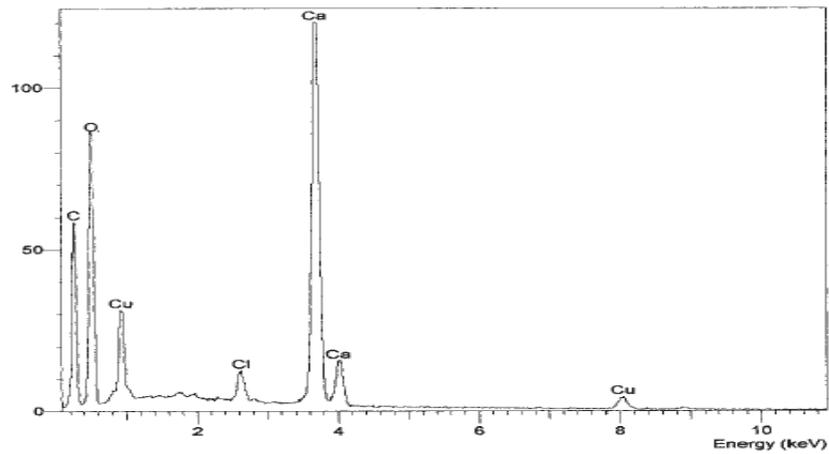
Hasil analisa mikro meliputi komposisi atom pembentuk kristal yang dinyatakan dalam presentase atom. Presentase diatas bila dibandingkan dengan hitungan secara teoritis ternyata mempunyai perbedaan.

Menurut perhitungan teoritis presentase berat kandungan Ca pada CaCO_3 seharusnya adalah $40/100 \times 100\% = 40 \text{ wt\%}$ sedangkan hasil analisa mikro dengan konsentrasi 2500 ppm kandungan Ca = 25,19% sehingga mempunyai selisih 14,81% dan pada konsentrasi larutan 3000 ppm kandungan Ca = 29,63 % sehingga mempunyai selisih 10,37%. Untuk kadar carbon (C) seharusnya $12/100 \times 100\% = 12 \text{ wt\%}$ sedangkan hasil analisa mikro pada konsentrasi larutan 2500 ppm didapatkan 19,97% wt sehingga mempunyai selisi 7,97% dan untuk konsentrasi larutan 3000 ppm didapatkan 16,83% maka mempunyai selisih 4,83%. Untuk kadar oksigen seharusnya $48/100 \times 100\% = 48 \text{ wt\%}$ sedangkan hasil analisa mikro pada konsentrasi larutan 2500 ppm menunjukan 53,15% sehingga mempunyai selisi 5,15% dan untuk konsentrasi larutan 3000 ppm didapatkan hasil 50,26% sehingga mempunyai selisih 2,26%.

Perbedaan hasil analisa mikro ini di akibatkan oleh beberapa sebab yaitu :

1. Adanya konsentrasi larutan dengan variabel 2500 ppm dengan 3000 ppm sehingga proporsi CaCO_3 mengalami perubahan.
2. Adanya kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh komposisi kristal.

Untuk mengetahui kebenaran hasil mikro peneliti membandingkan dengan grafik analisa EDX dari kristal CaCO_3 yang telah diteliti oleh Barbara dkk (1999). Hasil EDX yang dimaksud ditunjukkan yaitu pada Gambar 4.5.



Gambar 4.6 Analisa EDS CaCO_3 (Barbara dkk, 1999)

Tabel 4.3. Selisih antara teoritis dengan hasil analisa

Element	Teoritis Wt %	Analisa Mikro Wt%	Selisi Wt%
O	48	51.38	3,38 (lebih besar)
C	12	18.10	6,1 (lebih besar)
Ca	40	47.37	7,37 (lebih besar)

Hasil analisa menunjukan adanya perbedaan antara teoritis dengan analisa mikro ya dilakukan dengan alat SEM-EDS, adapun perbedaan tersebut diakibatkan adanya kandungan – kandungan seperti: Cu dan Zn

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

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

1. Semakin banyak konsentrasi larutan, massa kerak yang terbentuk semakin banyak, sehingga mengalami kenaikan 33,16 %. Hasil penelitian menunjukkan pada konsentrasi larutan 3000 ppm diperoleh massa kerak CaCO_3 sebesar 81,48 mg sedangkan pada konsentrasi larutan 2500 ppm menghasilkan massa kerak CaCO_3 54,6 mg.
2. Semakin besar konsentrasi larutan, waktu induksi akan semakin cepat. Waktu induksi untuk konsentrasi larutan 2500 ppm adalah 38 menit dengan nilai konduktivitas 8020 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sedangkan pada konsentrasi larutan 3000 ppm memiliki waktu induksi 28 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
3. Dari hasil SEM antara penambahan pada ppm terlihat bentuk morfologi kubus dengan struktur Kristal rombohedral. Yang menjadikan pada 3000 ppm mendekati inti kristal yang sempurna.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian yaitu:

- a. Penelitian kerak CaCO_3 dapat dilakukan kembali dengan alat penelitian yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), penggunaan zat aditif sebagai pengendali 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 karbonat, strontium karbonat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimi, F., Dkk. (2007), *Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation*, Desalination, 206, 163-168.
- Andritsos dan Karabelas, (1992). A conductance probe for measuring liquid fraction in pipes and packed beds. International Journal of Multiphase Flow 18 (5), 653-667
- Antony, A., Low, J. H., Dkk. (2011). *Scala 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.
- Bansal, B., H. Muller S., D. Chen. (1997). Effect of suspended particles on crystalization fouling in plate heat exchangers. ASME 119 : 568 - 574
- Barbara, B. Luc Thomas, Andrea C. (1999). Nonexponential Dynamic Scaling of the Magnetization Relaxation in Mn12 Acetate. Phys. Rev. Lett. 83, 2398
- Bhatia, A. (2003), "cooling water problems and solutions", Continuing Education and Development, Inc. 9 Greyridge Farm Court Stony Point, NY 10980. Course No : 05-009.
- Bott, T.R., (1995), *Fouling of Heat Exchangers*, Elsevier, Amsterdam and New York.
- Crabtree, M., Eslinger, D., Dkk. (1999). *Fighting scala removal and prevention*. Oilfield Review, 11(3), pp.30-45.
- Dewi dan Ali, (2003). Kinetic Study Of Electrocrystalization On Calcium Carbonate On Metallic Substrates, Journal Of Crystal Growth, 291 :428-435.
- Fathi, A., Mohamed, T., Dkk. (2006). Effect of a magnetic water treatment on homogeneous and heterogeneous precipitation of calcium carbonate. *Water Research*, 40(10), 1941-1950.

- Garcia, C., Courbin, G., Ropital, F., Fiaud, C. (2001), *Study of the scale inhibition by HEDP in a channel flow cell using a quartz crystal microbalance*, *Electrochimica Acta*, 46, pp: 973-985.
- Hisyam (2013). *Pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) di dalam pipa beraliran laminar pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif*. In *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik* (Vol. 1, No. 1).
- 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.
- 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.
- Lestari, (2008). "Identifikasi dan Karakterisasi Batu Kapur Tuban untuk Pengembangan Produk CaCO_3 " Jurusan Fisika FMIPA ITS. Surabaya.
- Ma'mun, H., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2013). *Pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) 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).
- 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.
- Siswoyo, Erna, K. (2005), *Identifikasi Pembentukan Scale*, Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta.
- 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.

- Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., Andritsos, N. (2007). *A study of CaCO₃ skala formation and inhibition in RO and NF membrane processes*. Journal of Membrane Science, 296(1), pp.171-184.
- 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 Ca²⁺: 3500 Ppm Dan Aditif Fe²⁺*. Momentum, 7(2).
- Samsudi Raharjo., (2016) *Coulding CaCO₃ Scale deposition on the pump system lamunaif art low audition of citive acids*.
- Samsudi Raharjo., S. Muryanto., J. Jamari., AP. Bayuseno, (2016), model dan optimasi variabel suhu, konsentrasi, asam sulfat pada pembentukan kerak kalsium karbonat, IJAER Vol. 11 no. 15.
- Samsudi Raharjo., S. Muryanto., J. Jamari., AP. Bayuseno, (2016), Pembentukan Kerak CaCO₃ pada Pipa Beraliran Laminer, *Matech Web Convergence*.
- Quddus dan Allam (2000). Hydrodynamically deposited CaCO₃ and CaSO₄ scales, Science Direct, Desalination 246: 526 – 533.
- Zeihner, E.H.K, H. Bosco, and K. D. Williams. (2003). *Novel Antiscalant Dosing Control*. Desalination 157. 209-216

LAMPIRAN

1. Pengaruh laju alir terhadap massa kerak

Konsentrasi larutan	Massa kerak (mg)
2500 ppm	54,6
3000 ppm	81.48

2. Data hubungan waktu terhadap konduktivitas

waktu	2500ppm	3000ppm
2	8700	8690
4	8680	8690
6	8670	8690
8	8670	8680
10	8660	8670
12	8670	8670
14	8660	8660
16	8680	8600
18	8630	8590
20	8630	8550
22	8600	8510
24	8550	8490
26	8510	8460
28	8490	8400
30	8370	7350
32	8320	6900
34	8300	6550
36	8260	6200
38	8020	6190
40	7420	6180
42	6530	6160
44	6080	6150
46	6040	6140

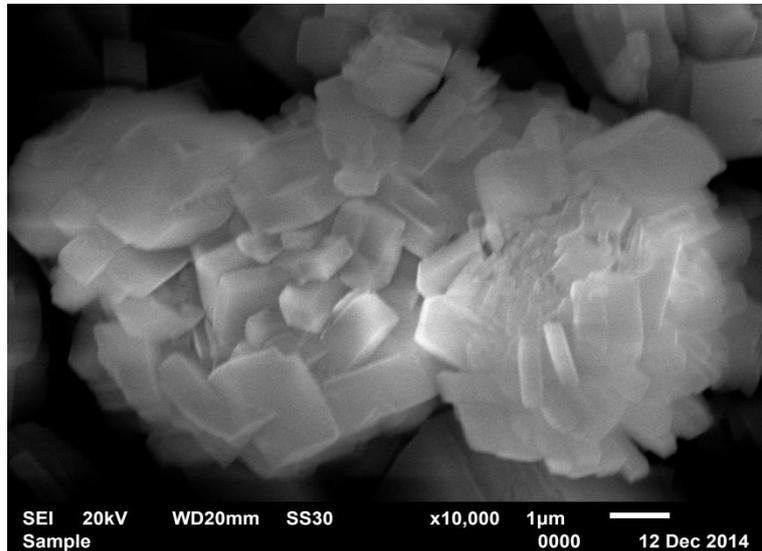
48	6010	6130
50	6005	6110
52	5980	6110
54	5940	6110
56	5930	6130
58	5980	6130
60	5970	6120



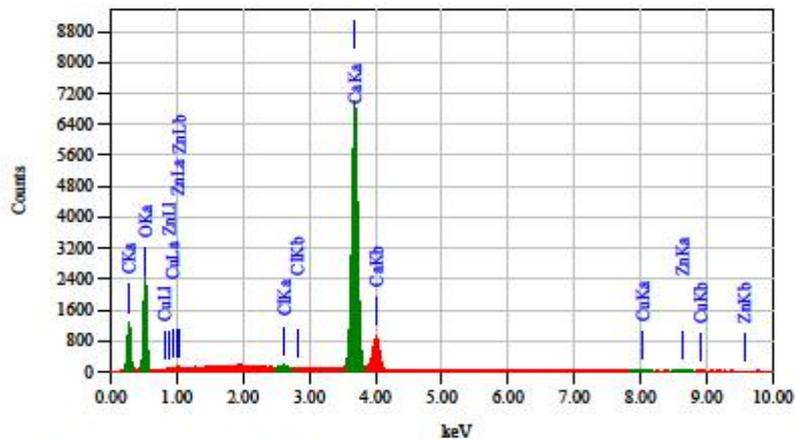
3. SEM EDS 2500 ppm

View000

JOEL



Title : IMG1
 Instrument : 6510 (LA)
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 3,000
 Date : 2014/12/12
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current : 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 31.58 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 3 %
 Counting Rate : 3487 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

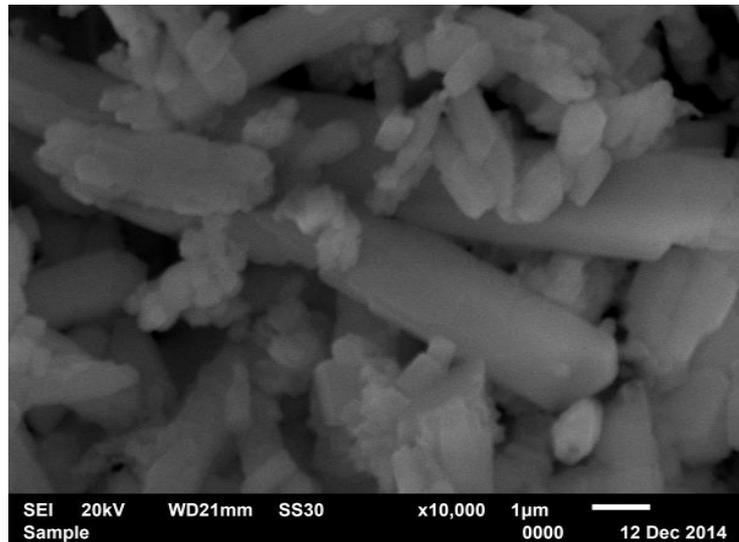
Fitting Coefficient : 0.0363

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C	0.277	19.97	0.15	29.47				14.6536
O	0.525	53.15	0.49	58.89				40.4241
Cl	2.621	0.12	0.01	0.06				0.2136
Ca	3.690	25.19	0.13	11.14				42.4906
Cu	8.040	0.89	0.06	0.25				1.2505
Zn	8.630	0.69	0.06	0.19				0.9676
Total		100.00		100.00				

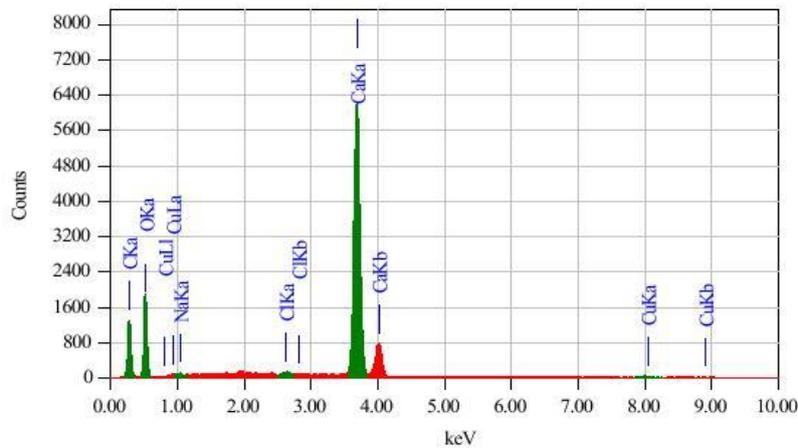
4. SEM EDS 3000 ppm

View000

JOEL



Title : IMG1
 Instrument : 6510(LA)
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 3,000
 Date : 2015/02/17
 Pixel : 512 x 384



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510(LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 1.00000 nA
 PHA mode : T3
 Real Time : 51.42 sec
 Live Time : 50.00 sec
 Dead Time : 2 %
 Counting Rate: 3040 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis(Oxide)
 Fitting Coefficient : 0.0409
 Total Oxide : 24.0

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Mol%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	37.23	0.26	73.58	C	37.23	0.00	28.8626
O		17.67						
Na K	1.041	0.42	0.06	0.21	Na2O	0.56	0.39	0.3745
Cl K	2.621	0.30	0.02	0.20	Cl	0.30	0.00	0.5189
Ca K	3.690	43.10	0.33	25.52	CaO	60.30	23.36	68.5656
Cu K	8.040	1.28	0.13	0.48	CuO	1.61	0.44	1.6784
Total		100.00		100.00		100.00	24.20	

5. JEOL JED 2300 SEM-EDS

