

ANALISA VARIASI TEMPERATUR PEMBENTUKAN KRISTAL
 CaCO_3 PADA CONSENTRASI LARUTAN 3500 ppm Ca^{++}
DENGAN LAJU ALIRAN 50 ML/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:

EKA CHANDRA SAPUTRA

C2A010008

FAKULTAS TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2015

ANALISA VARIASI TEMPERATUR PEMBENTUKAN KRISTAL
CaCO₃ PADA CONSENTRASI LARUTAN 3500 ppm Ca⁺⁺
DENGAN LAJU ALIRAN 50 ML/MENIT

Disusun oleh:

Eka Chandra Saputra

C2A010008

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

(Muh. Amin ST., MT.)

NIK. 28.6.1026.169

ANALISA VARIASI TEMPERATUR PEMBENTUKAN KRISTAL
CaCO₃ PADA CONSENTRASI LARUTAN 3500 ppm Ca⁺⁺
DENGAN LAJU ALIRAN 50 ML/MENIT

Oleh :

Eka Chandra Saputra

C2A010008

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
e-mail : ekacandras7@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. Sehingga kerak yang terbentuk pada pipa-pipa akan memperkecil diameter dan akhirnya meningkatkan biaya produksi. Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengembangkan alat *Closed Circuit Scale Simulator*, memahami mekanisme pembentukan kerak CaCO₃ dengan suhu 25⁰ c dan suhu 40⁰ c didalam pipa dengan aliran fluida dan mengkaji hasil morfologi, kristalograpi dan komposisi kerak. Percobaan dilakukan dengan beberapa kupon yang terbuat dari pipa tembaga yang merupakan bahan pipa yang umum digunakan dalam industri. Dalam penelitian ini dilakukan suatu pengembangan alat untuk mensimulasikan pertumbuhan kerak di dalam pipa uji. Alat uji ini dirangkai pada suatu rangka yang terbuat dari bahan plat besi siku. Hasil yang didapatkan selama pengujian dengan mereaksikan CaCl₂ dan NaCO₃ menggunakan larutan Ca²⁺ berkonsentrasi 3500 ppm dengan laju alir 50 ml/menit, dapat menumbuhkan kerak CaCO₃ dengan Berat kerak sebesar 0,200 gram untuk suhu 25⁰c dan 2,284 untuk suhu 40⁰c waktu induksi yang dibutuhkan adalah 17 dan 11 menit. Dan dari hasil SEM CaCO₃ diketahui bentuk kristal yang dihasilkan seratus persen *Rombohedral*.

Kata Kunci : CaCO₃, Waktu Induksi, SEM, Kerak.

Variation Analysis CaCO_3 Crystal Formation Inside Copper Pipeline
Which Flown by The Ca^{++} 3500 ppm Concentration With Laminar
Flow Rate Of 50 ml/min

by :

Eka Chandra Saputra
C2A010008

**Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering
Universitas Muhammadiyah Semarang
e-mail: ekacandras7@gmail.com**

Abstract

The formation of encrustation in the pipe system in the industry either or the house will causes a lot of technical problems and economical. This is causes of encrustation can cover or plug the water up that flow in the pipe and all at once plug the process up of transfer of heat in the equipment of alteration of heat. With the result that encrustation wich built of pipes will minimizing the diameter and the result the increase of productive payment. The purpose of this research is for developing closed circuit scale simulator device, understanding the mechanism of formation the encrustation CaCO_3 in the pipe with the rate of laminar and inspect the result of accidence, crystallography and the composition of encrustation. The experimentation is done with some coupon that made from copper pipe that make up from substance of pipe wich is usual used in the industry. In this research is done an instrument developing for the simulation of growing the encrustation up in the pipe experimental. This instrument is mad of framework that made from elbow iron metal sheets. The result that get along the experiment with making a reaction of CaCl_2 and Na_2CO_3 using liquid of Ca^{2+} with a concentration 3500ppm with a rate of 50ml/minutes, can growing the encrustation up CaCO_3 with the total weight of encrustation is 0,200 gram, the time of induction that is needed is 10 minutes. And from the result of SEM CaCO_3 is known the crystal from that is produced a hundred percent Rombhohedral.

Keyword : CaCO_3 , time induction, SEM, encrustation.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Eka Chandra Saputra

NIM : C2A010008

Judul Tugas Akhir : analisa variasi temperatur pembentukan kristal CaCO_3
pada konsentrasi larutan 3500 ppm Ca^{++} dengan laju
aliran 50 ml/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, Desember 2015

Yang menyatakan,

Eka Chandra Saputra

SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Eka Chandra Saputra
NIM : C2A010008
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
Jenis Penelitian : Tugas akhir / Tugas Akhir
Judul : analisa variasi temperatur pembentukan kristal CaCO_3 pada konsentrasi larutan 3500 ppm Ca^{++} dengan laju aliran 50 ml/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, Desember 2015

Yang Menyatakan,

Eka Chandra Saputra

MOTTO

***TUHAN BERSAMA ORANG-ORANG PEMBERANI DAN ALAM
TEMPAT SEKOLAH KITA.***



PERSEMBAHAN

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

1. Ayahku dan Ibuku tercinta yang dengan segala jerih payahnya selalu membiayai dan mendorong studyku sampai penyusunan tugas akhir ini.
2. Keluarga besar MPA HIMALAYA yang setia menemani dan memberiku semangat sehingga terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Teman kuliah seangkatan 2010 yang telah mendukungku.
4. Semua rekan-rekan Teknik Mesin yang telah melukis begitu banyak kenangan.
5. Semua Dosen FT yang telah menuntunku dalam revisi.
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 “analisa variasi temperatur pembentukan kristal CaCO_3 pada konsentrasi larutan 3500 ppm Ca^{++} dengan laju aliran 50 ml/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.Masruki, M.Pd, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Semarang.
2. Drs. H. Samsudi Raharjo, ST, MM, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang dan dosen pembimbing I yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
3. Rubijanto Juni P, ST, MT, selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang
4. Muh Amin ST, MT, selaku dosen pembimbing II yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
5. Orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan selalu memberikan motivasi.
6. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2010 atas bantuan dan dukungannya.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan dan doa.

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, Desember2015

Penulis,

Eka Chandra Saputra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
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 Manfaat dan tujuan	3
1.3.1 Manfaat Tugas Akhir	3
1.3.2 Tujuan Tugas Akhir	3
1.4 Metodologi Penulisan	4
1.5 Sistematika penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Proses pembentukan kerak	6
2.2 Kristalisasi.....	6
2.3 Sistem Kristal	7
2.3.1 Sistem Kristal Kubus	7
2.3.2 Sistem Kristal <i>Tetragonal</i>	8
2.3.3 Sistem Kristal <i>Ortorombik</i>	9

2.3.4	Sistem Kristal <i>Monoklin</i>	10
2.3.5	Sistem Kristal <i>Triklin</i>	10
2.3.6	Sistem Kristal <i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	11
2.3.7	Sistem Kristal <i>Heksagonal</i>	12
2.4	Kalsium Karbonat (CaCO_3)	14
2.5	Kerak Kalsium Karbonat.....	15
2.6	Pengaruh Terbentuknya kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)....	16
2.7	Pengaruh pH Terhadap Terbentuknya Kerak (CaCO_3).....	16
2.8	Konsentrasi Larutan	16
2.9	Aliran Fluida	17
2.10	Pengaruh Temperatur Terhadap Pertumbuhan Kerak	18
2.11	Waktu induksi	19

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	20
3.2	Diagram Alir Penelitian	21
3.3	Skema alat prototype <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	22
3.4	Pembuatan Alat prototype <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	23
3.4.1	Diskripsi Alat uji <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	24
3.5	Bagian-bagian Alat Uji.....	25
3.6	Cairan Yang Digunakan.....	31
3.6.1.	Deskripsi Cairan Yang Digunakan.....	31
3.7	Alat Ukur Yang Digunakan.....	32
3.8	Pembuatan Sampel Pengujian	33
3.8.1.	Pemotongan dan Flaring Sampel Pengujian.....	34
3.8.2.	Penimbangan dan Pengampelasan Sampel Pengujian	34
3.9	Variabel Penelitian	34
3.10	Pelaksanaan Percobaan.....	34
3.11	Pengujian Alat <i>Prototype Closed Circuit Scale Simulator</i>	35
3.11.1.	Peralatan Yang Dibutuhkan	35
3.11.2.	Pelaksanaan Pengujian Alat	35
3.11.3.	Teknik Pengambilan Data	36

3.11.4. Prosedur Pengujian.....	37
3.12 Analisis Data	37
3.13 Pembuatan Larutan CaCO ₃	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil pengujian unsur-unsur pipa tembaga	40
4.2 Hasil Konduktivitas Larutan CaCO ₃	41
4.3 Waktu induksi	41
4.6 Perhitungan massa kerak	42
4.7 Foto Hasil <i>scaling</i>	43
4.8 Pengujian SEM.....	44
4.9 Pengujian EDS	46
4.10 Pengujian XRD	46
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Sistem Kristalisasi	14
4.1	Hasil pengujian unsur-unsur pipa tembaga.....	40
4.2	Perhitungan Massa Kerak	42
4.3	Tabel EDS.....	45



DAFTAR GAMBAR

2.1	Sistem Kristal Kubus	8
2.2	Sistem Kristal <i>Tetragonal</i>	8
2.3	Sistem Kristal <i>Ortorombik</i>	9
2.4	Sistem Kristal <i>Monoklin</i>	10
2.5	Sistem Kristal <i>Triklin</i>	10
2.6	Sistem Kristal <i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	11
2.7	Sistem Kristal <i>Heksagonal</i>	12
3.1	Lab. THERMOFLUID	20
3.2	Lab. Robotik dan Otomatisasi	20
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	21
3.4	Skema <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	22
3.5	Desain prototype <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	23
3.6	Pompa	24
3.7	Bak Penampungan	25
3.8	<i>Bypass</i>	25
3.9	Kran	25
3.10	Rumah Sampel/ <i>Nipple</i>	26
3.11	Autonik grafik panel.....	26
3.12	Lampu LED	27
3.13	Digital temperatur kontrol	28
3.14	Termokopel.....	28
3.15	Converter	29
3.16	Gelas Ukur	29
3.17	Power Supply.....	30
3.18	Saklar	30
3.19	Saklar Mekanik.....	31
3.20	Timbangan.....	32
3.21	Gelas ukur.....	32
3.22	<i>Conductivity Meter</i>	33
3.23	Stop Watch	33

3.24	Sampel Pengujian	33
3.25	Penimbang Sampel Pengujian	34
3.26	Pengampelasan Sampel Pengujian	34
3.27	Pelaksanaan Percobaan.....	35
3.28	Pelaksanaan Pengujian	36
3.29	Pelaksanaan Pengambilan data	36
4.1	Hasil Konduktifitas Larutan (CaCO_3).....	41
4.2	Gambar Sebelum <i>Scaling</i>	43
4.3	Hasil <i>Scaling</i> CaCO_3 suhu 25^0 dan 40^0 c	43
4.4	Hasil <i>Scaling</i> CaCO_3 suhu 25^0 dan 40^0 c	44
4.5	Hasil SEM Perbesaran 2.500 x.....	44
4.6	Hasil Pengujian EDS	46
4.7	Hasil pengujian XRD	46



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

EDS = *Energy Dispersive X-ray Spectrometer*

XRD = *X-ray Diffractometer*

SEM = *Scanning 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 I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kerak adalah tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Seperti air menguap dalam menara pendingin, uap yang murni hilang dan konsentrasi padatan terlarut dalam air yang tersisa. Jika konsentrasi siklus ini dibiarkan berlanjut, berbagai kelarutan padat akhirnya akan terlampaui. Padatan kemudian akan menetap di dalam pipa atau pada permukaan pertukaran panas, di mana ia sering membeku menjadi kerak (Bhatia, 2003).

Masalah yang cukup serius yang dijumpai pada sebagian besar proses industri, yaitu terjadinya pengendapan garam pada dinding-dinding peralatan proses aliran fluida, terutama pada permukaan transfer panas dan permukaan alat-alat evaporasi. Pengendapan ini tidak diharapkan karena penumpukannya menyebabkan timbulnya kerak yang dapat mengganggu transfer panas sehingga mengurangi efisiensi dan menghambat pengaliran pada proses aliran fluida. Di samping itu, kerak yang menumpuk pada pipa-pipa saluran, lubang-lubang dan beberapa bagian aliran pada proses aliran fluida dapat menyebabkan gangguan yang serius pada pengoperasian, karena penumpukan kerak ini dapat mengakibatkan terjadinya korosi dan kerusakan pada peralatan proses produksi. Dalam penelitiannya Suharso dan kawan-kawan melakukan penelitian pertumbuhan kerak dengan mencampurkan larutan 0,1 M CaCl_2 dan larutan 0,1 M Na_2CO_3 masing-masing dalam 250 mL aquades pada suhu 80 °C (Suharso dkk.,2009). Pembentukan deposit kerak (scale) CaCO_3 oleh air sadah (air dengan kandungan ion Ca yang tinggi) pada sistem perpipaan di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis. Saksono dan kawan-kawan telah melakukan penelitian dengan melarutkan padatan CaCl_2 dan Na_2CO_3 di dalam air demin untuk menghasilkan larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi 0,005 M, 0,010 M, 0,015 M dan 0,020 M. Demikian juga untuk larutan CaCl_2 (Saksono dkk., 2007).

Di dalam proses industri pengerakan merupakan permasalahan yang masih sangat memprihatinkan terutama pada sistem pendingin dan industri minyak bumi. Ini adalah alasan mengapa banyak penelitian masih dikembangkan untuk memahami fenomena kerak. Untuk tujuan ini beberapa metode telah dikembangkan untuk mempercepat terbentuknya kerak (Euvrard dkk., 2004). Penghambatan pertumbuhan kristal tampaknya menjadi metode yang paling efisien mengendalikan kerak CaCO_3 , CaF_2 , CaSO_4 , $2\text{H}_2\text{O}$ dan BaSO_4 . Efektivitas inhibitor kerak tergantung pada kemampuan sebuah aditif untuk mengganggu langkah-langkah pembentukan kerak, yaitu baik dengan langkah nukleasi atau dengan pertumbuhan kristal (Tzotzi dkk., 2007).

Pengaruh dari laju alir adalah dalam hal jumlah impuritas yang diangkut selama fluida mengalir. Bila laju alir semakin besar maka impuritas yang diangkut akan semakin besar pula sehingga mempunyai relevansi terhadap kemungkinan peningkatan jumlah kerak yang terjadi. Pada sisi lain ada kemungkinan laju alir akan mengurangi waktu reaksi antara ion kalsium dengan ion sulfat. Model aliran ada dua macam yaitu laminar dan turbulen. Peneliti membatasi masalah untuk meneliti model aliran laminar. Temperatur sistem dimana terjadi proses pengerakan sangat bervariasi. Peneliti melakukan pembatasan temperatur dengan memilih temperatur kamar dengan alasan bahwa pada temperatur tersebut proses pengerakan terjadi secara alami.

1.2. Perumusan dan Batasan Masalah

1.2.1. Perumusan masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan alat *closed circuit scale simulator*, agar dapat memahami mekanisme pembentukan kerak CaCO_3 didalam pipa dengan aliran laminar. Kemudian mengkaji hasil morfologi, kristalografi kerak dan komposisi kimianya melalui uji SEM, EDS dan XRD.

1.2.2. Batasan masalah

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan kerak yang dikaji yaitu kerak CaCO_3 . Pemilihan ini didasari pertimbangan bahwa kerak CaCO_3

adalah jenis kerak yang paling banyak dijumpai dalam lingkungan sehari-hari atau dalam industri (Ang Haming dkk, 2006). Model aliran yang dijumpai ada dua macam aliran yaitu laminar dan turbulen. Untuk hal ini peneliti membatasi masalah untuk meneliti dengan model aliran laminar. Temperatur sistem dimana terjadi proses pergerakan bisa sangat bervariasi. Dalam hal ini peneliti melakukan pembatasan temperatur dengan memilih temperatur luar ruangan dengan alasan bahwa pada temperatur tersebut proses pergerakan terjadi secara alami. Untuk ruang lingkup pengujian, peneliti akan menguji morfologi pertumbuhan kerak, kristalografi kerak, waktu induksi.

1.3. Manfaat dan Tujuan

1.3.1. Manfaat Tugas Akhir

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat pada umumnya bagi pengkajian dan pengembangan ilmu tentang kerak pada aspek proses pembentukan. Dengan dilakukan penelitian ini diharapkan bisa memberikan suatu data atau informasi bagaimana cara pengaturan parameter yang berpengaruh terhadap pertumbuhan kerak sehingga sistem kerja akan mempunyai efisiensi yang tinggi. Proses aliran bisa berjalan tanpa ada gangguan dari kerak yang timbul, proses *heat transfer* tidak terhambat oleh kerak yang menempel pada dinding bejana.

1.3.2. Tujuan Tugas Akhir

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan alat *closed circuit scale simulator*.
2. Memahami mekanisme pembentukan kerak CaCO_3 didalam pipa dengan aliran laminar.
3. Mengkaji hasil morfologi, kristalografi kerak dan komposisi kimianya melalui uji SEM,EDS dan XRD.

1.4. Metodologi Penulisan

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan pembentukan kristal CaCO_3 pada konsentrasi larutan 3500 ppm Ca^{++} dengan laju aliran 50 ml/menit.

2. Pemilihan bahan pipa uji

Pipa untuk pengujian menggunakan pipa tembaga sebanyak 4 buah dengan panjang 30 mm dengan diameter luar 18 mm dan diameter dalam 12,5mm.

3. Pembuatan rangka alat *closed circuit scale simulator*.

Membuat rangkaian alat menggunakan besi siku ukuran 5x5 dan tebal 7mm berbentuk balok.

4. Perancangan skema alat *closed circuit scale simulator*.

Perancangan dengan menggunakan komponen atau alat tambahan seperti pompa, pemanas, kipas pendingin, panel grafik dan dynamo pengaduk larutan.

5. Uji laboratorium dan analisa data.

Mengumpulkan dan mengambil data penelitian sesuai dengan judul tugas akhir

6. Bimbingan

Bimbingan dilakukan penulis untuk konsultasi langsung mengenai permasalahan yang bersangkutan dengan laporan tugas akhir dengan pembimbing.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran mengenai isi laporan, penulis akan menguraikan susunannya yang secara garis besar terdiri dari lima bab. Sistematika ini dibuat dengan tujuan agar mudah dipahami oleh semua pihak, dengan susunan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN, Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah yang di bahas, manfaat dan tujuan, metodologi penulisan serta sistematika penulisan laporan tugas akhir. Pada latar belakang berisi uraian bahasan tentang kerak CaCO_3 .

BAB II LANDASAN TEORI, Bab ini berisi tentang uraian teori-teori tentang proses pembentukan kerak serta penjelasan tentang kerak CaCO_3 . Teori-teori ini diolah dari berbagai macam sumber antara lain : buku, jurnal-jurnal tentang kerak CaCO_3 , seminar, *resume*, dan lain-lain.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, Bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, konsep dari alat uji *closed circuit scale simulator* dan pembuatan desain alat *closed circuit scale simulator*, serta tata cara menganalisa data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan berisikan tentang data yang diperoleh dari hasil pengujian serta cara pengolahannya menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijabarkan pada bab 2 tinjauan pustaka untuk mengetahui uraian teori-teori tentang proses pembentukan kerak CaCO_3 serta hasil SEM dan XRD.

BAB V PENUTUP, Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dimana kesimpulan yang di ambil atau diperoleh dari hasil pengujian kerak CaCO_3 dan analisa yang telah diuraikan pada bab empat. Saran-saran bertujuan untuk memberikan masukan kepada penulis dan para praktisi yang berkecimpung di dunia pengerakan CaCO_3 agar dapat menghasilkan rancangan alat *closed circuit scale simulator* yang lebih efisien. Semua literatur yang digunakan selama pengujian dan penulisan laporan tugas akhir ini di daftarkan pada halaman daftar pustaka. Sedangkan hasil pengujian kerak CaCO_3 secara lengkap pada semua parameter pengujian akan dilampirkan pada lampiran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Proses Pembentukan Kerak

Pengerakan banyak terjadi pada pipa pengaliran air, sehingga kecepatan fluida merupakan faktor yang sangat berpengaruh. Fluida yang mengalir dalam pipa mempunyai uraian gaya aksial dan radial (Mc.Keon, 2007) yang menyebabkan pergerakan inti kerak yang terbentuk. Gaya radial menyerupai gaya geser yang mengenai dinding pipa secara tegak lurus hingga menyebabkan terlepasnya sebagian inti kerak yang telah menempel pada dinding pipa. Selanjutnya inti kerak didorong oleh gaya aksial fluida sehingga terbawa oleh aliran dan menempel pada bagian dinding lain. Dalam hal ini gaya aksial radial yang dimiliki oleh aliran fluida berfungsi sebagai penyebar inti kerak sehingga akan menjadi pusat-pusat baru bagi pertumbuhan kerak. Pengaruh dari gaya radial fluida adalah mendorong inti kerak telah terbentuk yang berada pada bagian tengah pipa ke arah dinding pipa sehingga membuat inti tersebut menempel pada dinding, selanjutnya ia ditempeli oleh endapan kerak yang terbentuk kemudian dan inti kerak tersebut menjadi lebih besar. Pengaruh lain dari laju alir adalah dalam hal jumlah impuritas yang diangkut selama fluida mengalir. Bila laju alir semakin besar maka impuritas yang diangkut akan semakin besar pula sehingga mempunyai relevansi terhadap kemungkinan peningkatan jumlah kerak yang terjadi. Pada sisi lain ada kemungkinan laju alir akan mengurangi waktu reaksi antara ion kalsium dengan ion sulfat.

Mengingat laju alir adalah faktor penting dalam pertumbuhan kristal maka bila laju alir diperlakukan berbeda akankah berpengaruh terhadap morfologi kristal yang dihasilkan, bila diberikan sejumlah aditif akan pulakah berpengaruh terhadap morfologi kristal yang dihasilkan? Untuk menjawabnya perlu kiranya dilakukan eksperimen ini.

2.2. 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).

2.3. Sistem Kristal

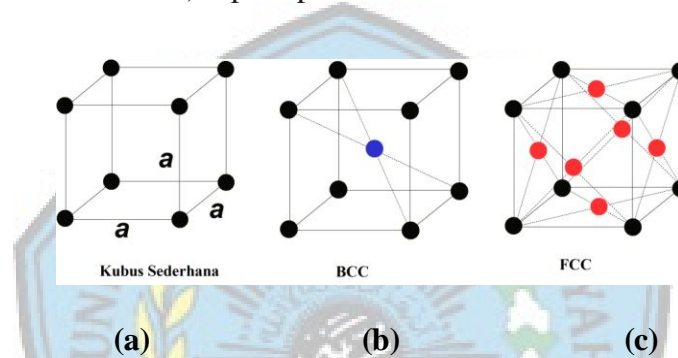
Sistem kristal dapat dibagi ke dalam 7 sistem kristal. Adapun ke tujuh sistem kristal tersebut adalah kubus, *tetragonal*, *ortorombik*, *heksagonal*, *trigonal*, *monoklin*, dan *triklin*.

2.3.1 Sistem Kristal Kubus

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

(*body-centered cubic/ BCC*) dan kubus berpusat muka (*Face-centered Cubic/ FCC*).

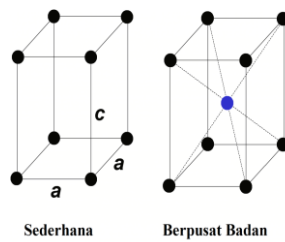
Berikut bentuk dari ketiga jenis kubus yaitu pada kubus sederhana masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) kubus, pada kubus BCC masing-masing terdapat satu atom pada semua pojok kubus, dan terdapat satu atom pada pusat kubus (yang ditunjukkan dengan atom warna biru). Pada kubus FCC selain terdapat masing-masing satu atom pada semua pojok kubus, juga terdapat atom pada diagonal dari masing-masing sisi kubus (yang ditunjukkan dengan atom warna merah) seperti pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Sistem Kristal Kubus
(Sumber : [http _ www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

2.3.2 Sistem Kristal *Tetragonal*

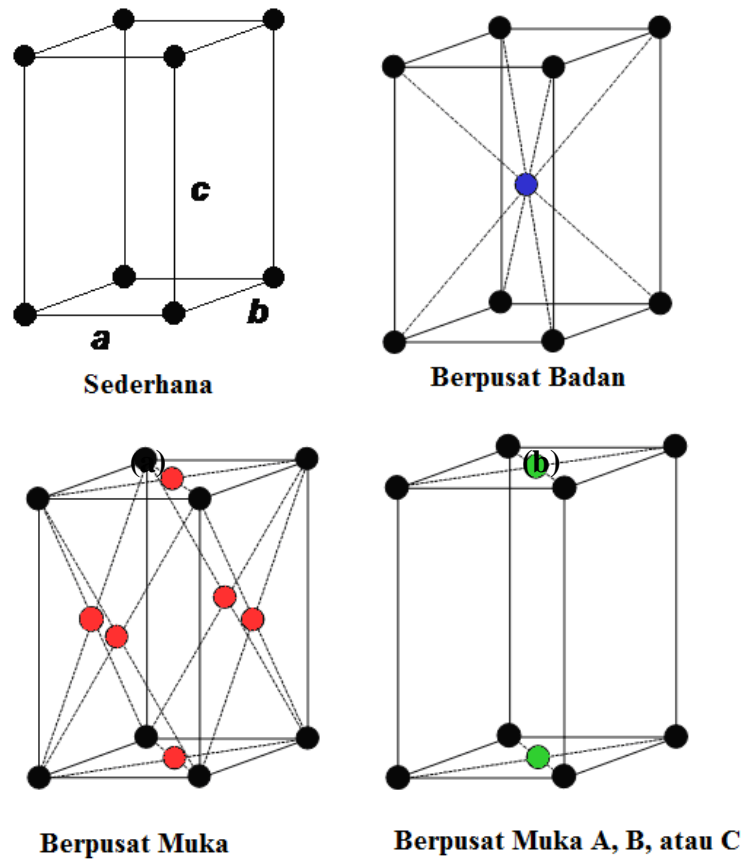
Pada sistem kristal *tetragonal* dua rusuknya yang memiliki panjang sama ($a = b \neq c$) dan semua sudut ($\alpha = \beta = \gamma$) sebesar 90° . Pada sistem kristal *tetragonal* ini hanya memiliki dua bentuk yaitu sederhana dan berpusat badan. Pada bentuk *tetragonal* sederhana mirip dengan kubus sederhana dimana masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) *tetragonal*. Sedangkan pada berpusat badan mirip pula dengan kubus berpusat badan yaitu memiliki 1 atom pada pusat *tetragonal* (ditunjukkan pada atom warna biru), dan atom lainnya berada pada pojok (sudut) *tetragonal* seperti pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Sistem Kristal Tetragonal
(Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

2.3.3 Sistem Kristal *Ortorombik*

Sistem kristal *ortorombik* terdiri atas 4 bentuk yaitu : *ortorombik* sederhana, *body center* (berpusat badan) yang ditunjukkan atom dengan warna merah, berpusat muka (yang ditunjukkan atom dengan warna biru), dan berpusat muka pada dua sisi *ortorombik* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau). Panjang rusuk dari sistem kristal *ortorombik* ini berbeda-beda ($a \neq b \neq c$), dan memiliki sudut yang sama ($\alpha = \beta = \gamma$) yaitu sebesar 90° . Gambar sistem kristal *ortorombik* dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

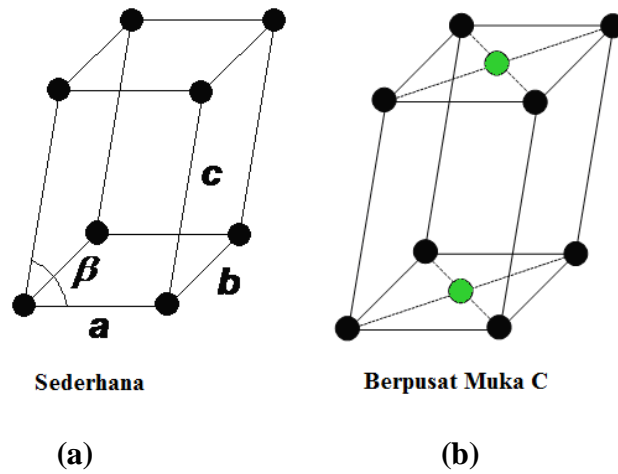


(c) (d)

Gambar 2.3 Sistem Kristal *Ortorombik*
 (Sumber : [http _ www.rolanusli.com](http://www.rolanusli.com))

2.3.4 Sistem Kristal *Monoklin*

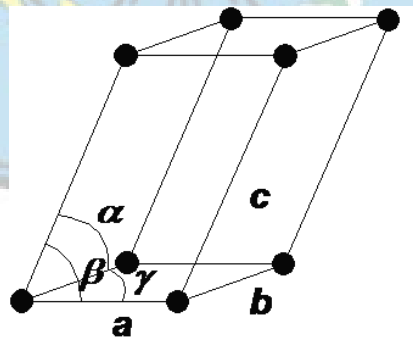
Sistem kristal *monoklin* terdiri atas 2 bentuk yaitu : *monoklin* sederhana dan berpusat muka pada dua sisi *monoklin* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau) seperti pada **Gambar 2.4**. Sistem kristal *monoklin* ini memiliki panjang rusuk yang berbeda-beda ($a \neq b \neq c$), serta sudut $\alpha = \gamma = 90^\circ$ dan $\beta \neq 90^\circ$.



Gambar 2.4 Sistem Kristal *Monoklin*
(Sumber : [http _ www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

2.3.5 Sistem Kristal *Triklin*

Pada sistem kristal *triklin*, hanya terdapat satu orientasi. Sistem kristal ini memiliki panjang rusuk yang berbeda ($a \neq b \neq c$), serta memiliki besar sudut yang berbeda-beda pula yaitu $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$. Sistem kristal *triklin* dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



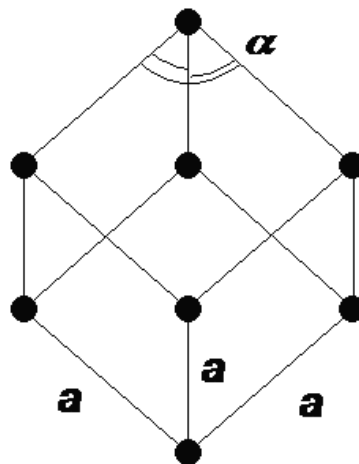
Gambar 2.5 Sistem Kristal *Triklin*
(Sumber : [http _ www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

2.3.6 Sistem Kristal *Rombohedral* atau *Trigonal*

Jika kita membaca beberapa referensi luar, sistem ini mempunyai nama lain yaitu *Rombohedral*, selain itu beberapa ahli memasukkan sistem ini kedalam

sistem kristal Hexagonal. Demikian pula cara penggambarannya juga sama. Perbedaannya, bila pada sistem Trigonal setelah terbentuk bidang dasar, yang terbentuk segienam, kemudian dibentuk segitiga dengan menghubungkan dua titik sudut yang melewati satu titik sudutnya.

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

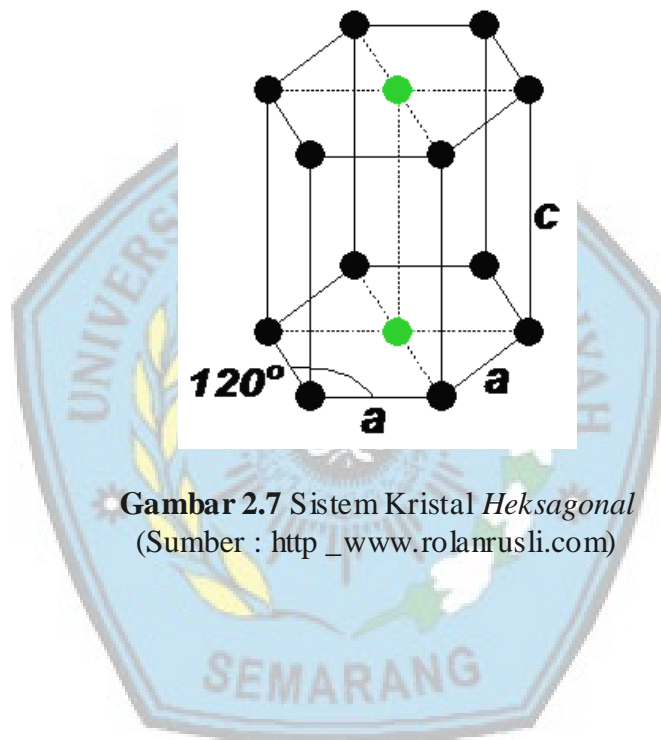


Gambar 2.6 Sistem Kristal *Rombohedral* atau *Trigonal*
(Sumber : [http _www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

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

2.3.7 Sistem Kristal *Heksagonal*

Pada sistem kristal ini sesuai dengan namanya *heksagonal* (*heksa* = enam), maka sistem ini memiliki 6 sisi yang sama. Sistem kristal ini memiliki dua nilai sudut yaitu 90° dan 120° ($\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$), sedangkan panjang rusuk-rusuknya adalah $a = b \neq c$. Semua atom berada pada sudut-sudut (pojok) *heksagonal* dan terdapat masing-masing atom berpusat muka pada dua sisi *heksagonal* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau) seperti pada **Gambar 2.7**.



Secara keseluruhan, dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

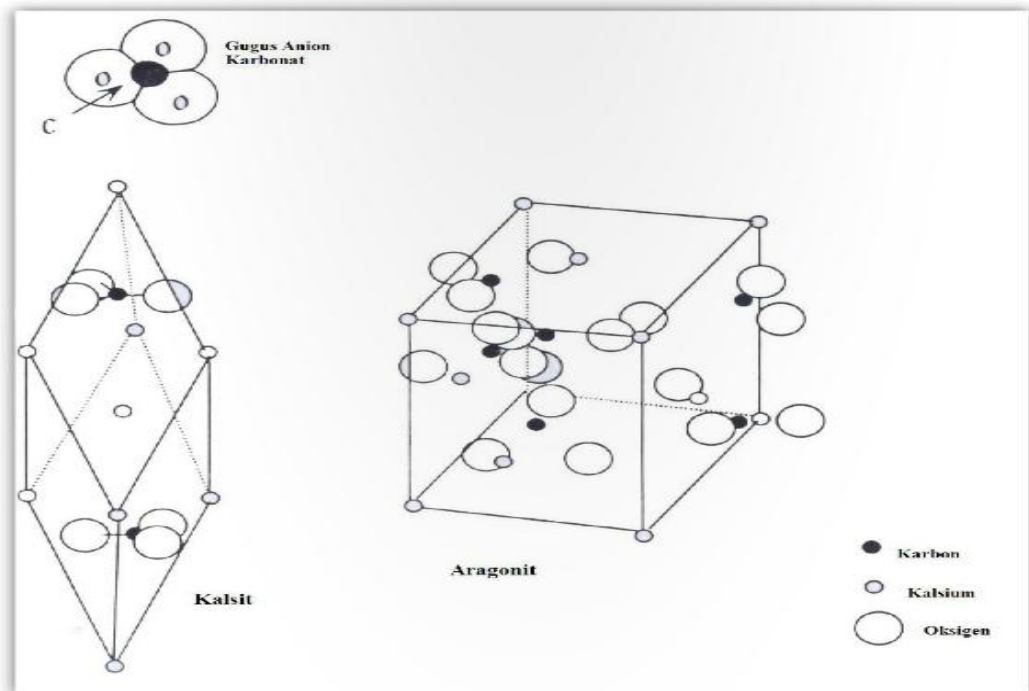
Tabel 2.1 Tabel Sistem Kristalisasi

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

2.4. Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan padatan putih yang hanya sedikit larut dalam air. Kalsium karbonat terurai bila dipanaskan menghasilkan kalsium oksida (kapur tohor) dan karbon dioksida. Senyawa ini dijumpai di alam sebagai mineral kalsit dan aragonit. Kalsit merupakan bentuk CaCO_3 yang lazim, dapat dibedakan dengan aragonit berdasarkan kekerasan dan bobot jenisnya. Aragonit terbentuk pada tekanan yang lebih tinggi dan tidak stabil pada kondisi-kondisinya. Bahkan aragonit didapati sebagai endapan utama. Lambat laun aragonit akan mengalami rekristalisasi menjadi kalsit (Daintith, 1994).

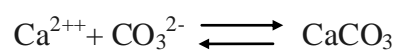
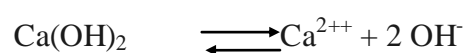
Kalsit merupakan salah satu mineral kalsium karbonat yang mengkristal dalam sistem rombohedral, biasanya tidak berwarna atau berwarna putih dan mempunyai kekerasan 3 pada skala Mohs dengan bobot jenis 2,71. Kalsit adalah mineral pembentuk batuan dan merupakan penyusun utama dalam batu gamping, marmar dan karbontait. Aragonit merupakan mineral anhidrat pembentuk batuan kalsium karbonat yang mengkristal dalam sistem rombus dengan bobot jenis 2,93 dan mempunyai kekerasan 3,5-4 pada skala Mohs. Aragonit biasanya berwarna putih atau tidak berwarna bila murni, tetapi jika ada bahan asing dapat bercorak kelabu, biru, hijau atau merah muda. Aragonit terjadi sebagai endapan didalam gua kapur, disekitar air panas dan *geyser* dan dalam batuan metamorf tekanan tinggi-suhu rendah, juga dijumpai dalam kerang sejumlah hewan moluska dan batu kerang serta merupakan penyusun utama mutiara (Sen, 2001). Sebagaimana disebutkan sebelumnya, kalsit dan aragonit adalah dua bentuk mineral dengan komposisi kimia yang sama yaitu CaCO_3 . Pada struktur-struktur atomnya dengan semua karbonat paling kuat, ikatan kovalen parsial terjadi diantara atom karbon dan tiga oksigen tetangga terdekatnya. Setiap kompleks anion (CO_3^{2-}) mengikat secara ionik dengan dua kation Ca^{2+} pada kalsit dan tiga kation Ca^{2+} pada aragonit (gambar 2.8). Hasil geometri unit sel kalsit adalah rombohedral dan aragonit adalah ortorombik (Sen, 2001).



Gambar 2.8 Struktur atom kalsit dan aragonit serta gambaran skema unit CO₃²⁻ (Sumber: Sen, 2001).

2.5. Kerak Kalsium Karbonat

Kerak kalsium karbonat (CaCO₃) merupakan kerak yang paling umum terjadi pada dinding-dinding pipa industri yang melibatkan aliran fluida. Batuan mengandung kalsium karbonat larut perlahan-lahan dalam air hujan asam (mengandung CO₂ terlarut) dan mengakibatkan kesadahan sementara. Kelarutan CaCO₃ yang sedikit dapat terbentuk jika larutan lewat jenuh dalam tempat pengolahannya terjadi kesetimbangan kimia dengan lingkungannya pada tekanan dan temperatur yang sebenarnya. Kesetimbangan CaCO₃ dapat diganggu dengan pengurangan gas CO₂ pengendapan sehingga terbentuk kerak. Pengendapan CaCO₃ dapat dihasilkan dari reaksi sebagai berikut (Zhang dkk., 2002):



Kerak CaCO_3 juga dikenal sebagai hasil dari pengendapan kapur yang dapat dibuat dengan cara mengendapkan larutan kalsium klorida atau kalsium nitrat dengan larutan natrium karbonat atau natrium bikarbonat (Wallis, 1965). Adanya pembentukan kerak ini menimbulkan banyak kerugian, antara lain menyebabkan gangguan transfer panas, korosi pada pipa aliran fluida dan lain-lain. Dalam hal ini perlu ditambahkan suatu aditif anti kerak (inhibitor) untuk mencegah atau menghambat pembentukan kerak tersebut.

2.6. Pengaruh Terbentuknya Kerak Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Endapan kerak merupakan salah satu masalah penting dan umumnya terbentuk di pipa-pipa peralatan industri. Contohnya pada sistem injeksi air yang umumnya ada di ladang minyak, banyaknya kerak akan menurunkan produksi minyak dan gas (Badr dan Yassin, 2007). Pada penelitian Halimatuddahlia (2003) menyimpulkan bahwa pembentukan kerak pada operasi produksi minyak bumi dapat mengurangi produktivitas sumur akibat tersumbatnya pipa, pompa dan katub. Kerak yang terbentuk pada pipa-pipa peralatan industri akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Terganggunya aliran fluida menyebabkan suhu semakin naik dan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa akan pecah (Asnawati, 2001). Endapan kerak yang banyak dijumpai pada peralatan-peralatan industri minyak dan gas, proses desalinasi, ketel serta industri kimia salah satunya adalah kerak CaCO_3 (Badr dan Yassin, 2007; Lestari, 2000). Oleh karena itu perlu dilakukan pencegahan pembentukan kerak untuk mengurangi atau menghilangkan kerak kalsium sulfat yang terdapat pada peralatan-peralatan industri.

2.7. Pengaruh pH Terhadap Terbentuknya Kerak CaCO_3

Dengan terdapatnya sejumlah CO_3 di dalam air akan memberikan pengaruh pH air dan daya larut dari kalsium karbonat. Dengan rendahnya pH akan semakin kecil kemungkinan terdapatnya *scale* kalsium karbonat, dan kebalikan semakin tinggi pH maka semakin banyak *scale* kalsium karbonat yang akan terbentuk.

2.8. Konsentrasi Larutan

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

2.9. Aliran Fluida

A. Aliran laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan – lapisan, atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi hukum viskositas Newton yaitu :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

(ridwan.staff.gunadarma.ac.id/)

B. Aliran turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran.

C. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.

Fluida yang mengalir dalam pipa mempunyai uraian gaya aksial dan radial yang akan menjadikan proses pergerakan inti kerak yang terbentuk. Gaya radial akan menyerupai gaya gerak yang mengenai dinding pipa secara tegak lurus dan menyebabkan sebagian inti kerak yang telah menempel pada dinding pipa

melepas. Inti kerak akan di dorong oleh gaya aksial fluida sehingga terbawa oleh aliran dan kemudian menempel pada bagian dinding lain.

Pengaruh lain dari laju alir adalah pada jumlah impuritas yang diangkut selama fluida mengalir. Bila laju alir semakin besar maka impuritas yang diangkut akan semakin besar pula sehingga mempunyai relevansi terhadap kemungkinan peningkatan jumlah kerak.

D. Konsep Dasar Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran itu dinamakan laminar, transisi atau turbulen.

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

Keterangan :

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)

(ridwan.staff.gunadarma.ac.id/)

Dilihat dari kecepatan aliran menurut (Mr. Reynolds) diasumsikan/dikategorikan laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan Re kurang dari 2300, Untuk aliran transisi berada pada bilangan Re 2300 dan 4000 biasa juga disebut sebagai bilangan Reynolds kritis, sedangkan aliran turbulen mempunyai bilangan Re lebih dari 4000.

2.10. Pengaruh Temperatur terhadap Pembentukan Kerak CaCO_3

Kebalikan dengan karakteristik kebanyakan mineral, kalsium karbonat akan menjadi sedikit larut dengan bertambahnya temperatur. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya tempertur akan terjadi penguapan, sehingga terjadi perubahan kelarutan menjadi lebih rendah dan ini akan mengakibatkan terjadinya pembentukan *scale*. Oleh sebab itu, *scalling* (pengendapan) tidak akan terjadi di

permukaan tetapi dapat terjadi di formasi sumur injeksi jika temperatur sumur cukup tinggi. Ini juga merupakan alasan bahwa scale kalsium karbonat sering didapatkan pada pipa pembakar dari alat pemanas. Pada umumnya kelakuan dari daya larut kalsium karbonat merupakan fungsi temperatur.

2.11. Waktu Induksi

Waktu induksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh ion dalam larutan untuk bereaksi sehingga membentuk inti kristal yang pertama kali (Isopescu dkk, 2009). Apabila semakin kecil nilai waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal terbentuk, sebaliknya bila semakin besar nilai waktu induksi berarti semakin lama inti kristal terbentuk. Inti kristal selanjutnya menjadi pusat-pusat pertumbuhan kerak sehingga semakin banyak inti yang terjadi maka akan semakin banyak jumlah kerak yang terbentuk. Pada konsentrasi Ca tinggi nilai waktu induksi kecil artinya inti kerak cepat terjadi dan sebaliknya. Untuk mendapatkan waktu induksi digunakan pendekatan tertentu agar mudah untuk diamati. Pada umumnya waktu induksi diamati dengan melihat nilai konduktivitas larutan dimana bila terjadi penurunan nilai konduktivitas maka hal ini memberikan isyarat bahwa ion-ion mulai bereaksi membentuk inti kristal. Dalam langkah ini konduktivitas larutan harus dicatat setiap saat. Dari grafik itulah maka bisa didapatkan waktu induksi yaitu ditandai dengan perubahan garis yang mencolok.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

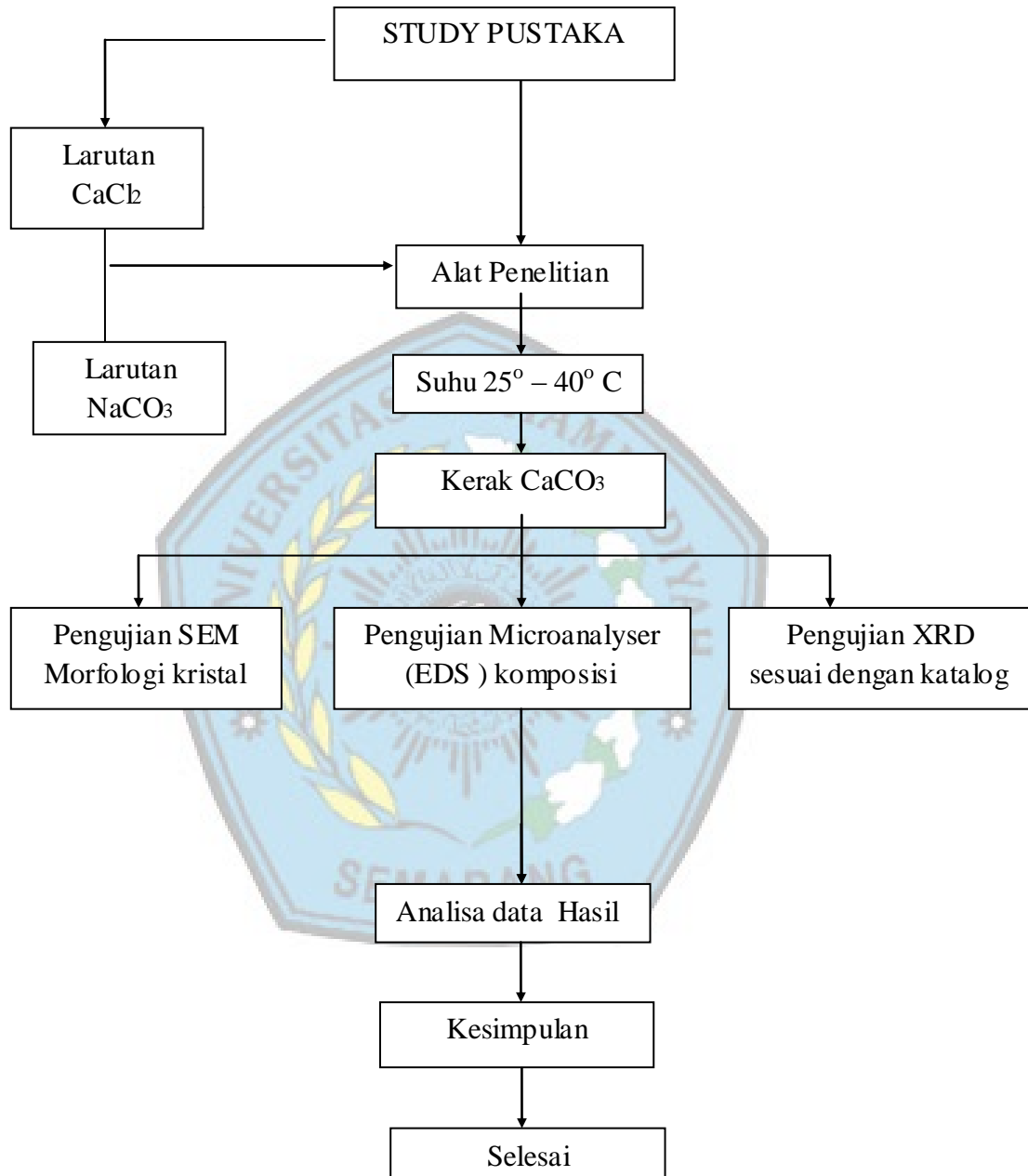
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan Oktober – Desember 2014 dengan waktu efektif kurang lebih 3 bulan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Thermofluid Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang. Sedangkan pembuatan desain *prototype closed circuit scale simulator* dilaksanakan di Laboratorium Robotik dan Otomatisasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2**.



Gambar : 3.1 Lab. THERMOFLUID **Gambar : 3.2** Lab. Robotik dan Otomatisasi Tempat Pelaksanaan Penelitian Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

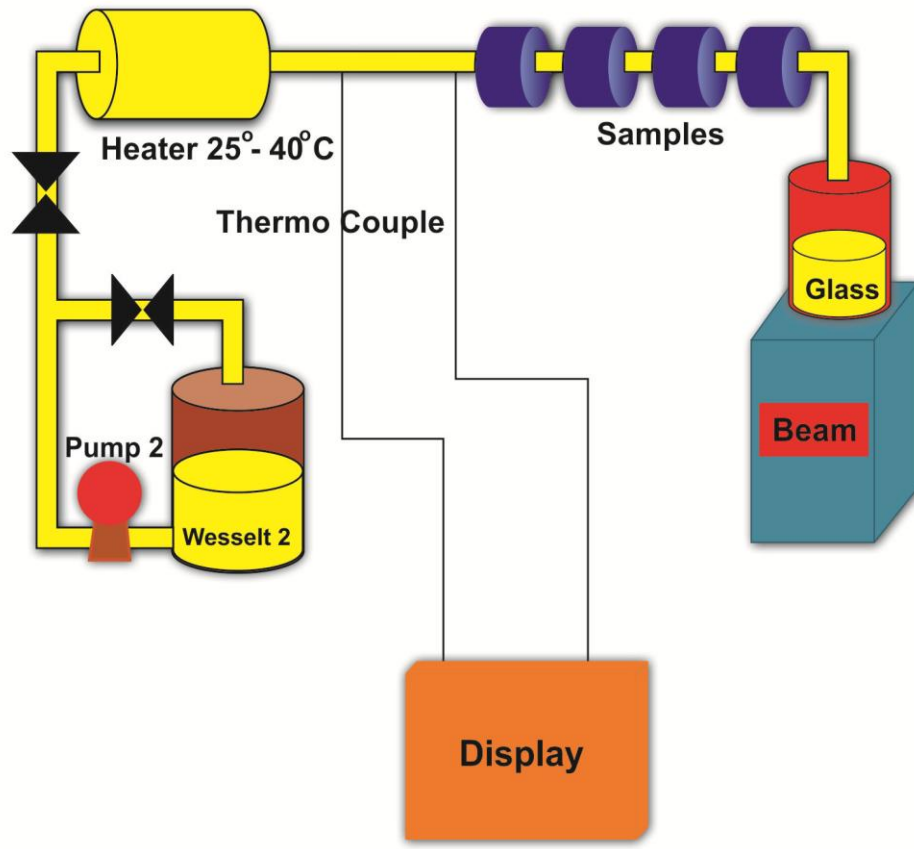
3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar : 3.3 Diagram alir metodologi penelitian

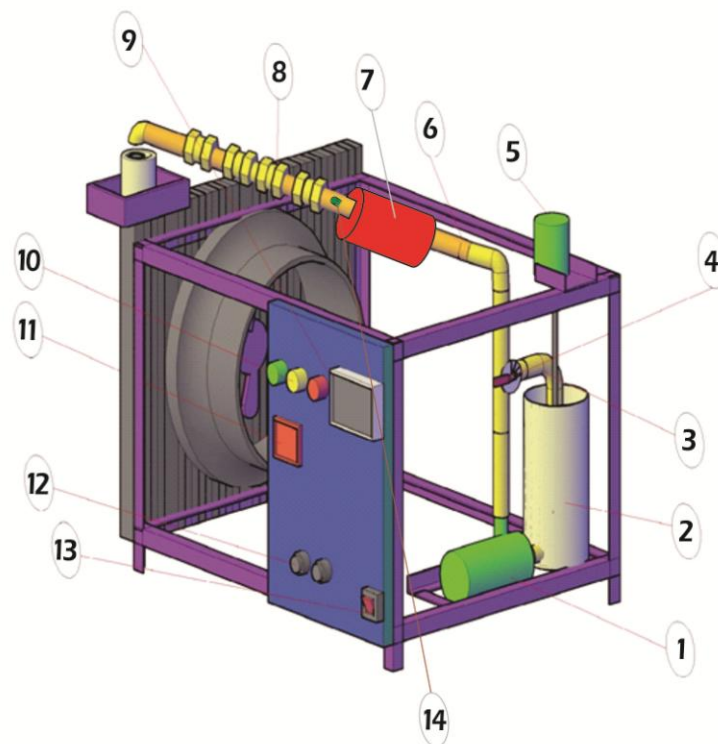
(Sumber : Digambar Sendiri)

3.3 Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*



Gambar : 3.4 Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

3.4 Pembuatan Alat Uji *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*



Gambar : 3.5 Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator*

Keterangan :

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 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 |
| | 14) Termocouple |
| 6) Pipa | |
| 7) heater | |
| 8) kipas | |

3.4.1. Deskripsi Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

Desain *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* yang digunakan dirancang untuk dapat beroperasi mendukung memenuhi kebutuhan pelaksanaan penelitian secara akurat pengambilan data. Alat uji ini dirangkai pada suatu rangka yang terbuat dari bahan plat besi. Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator* dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.

3.5 Bagian-Bagian Alat Uji

A. Pompa iwaki magnetic

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat yang lain, melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung terus menerus. Dalam penelitian ini pompa digunakan untuk mengalirkan fluida dari bak penampung menuju ke sampel-sampel pengujian. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.6**. Data teknis pompa yang di gunakan adalah sebagai berikut :

- *Merk* : Iwaki Mangnet Pump
- *Type* : MD-30R-220N
- *Max capacity* : 32/38 l / menit
- *Max head* : 3.8 / 5.4 m
- *Voltage* : 220 /240 v
- *Power* : 60 / 80 w
- *Output* : 45 w
- *Power consumption* : 60 / 80 w
- *Current* : 45 w



Gambar : 3.6 Pompa Iwaki Magnet Pump MD-30R-220N

B. Bak Penampung

Bak penampung digunakan untuk menampung cairan CaCO_3 yang akan dialirkan ke pompa dan selanjutnya akan dialirkan ke kupon-kupon pengujian.

Bak penampung cairan CaCO_3 dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar : 3.7 Bak penampung

C. Bypass

Bypass digunakan untuk mengatur *output* aliran yang dibutuhkan cairan CaCO_3 yang akan menuju ke kran dan akan di kembali lagi ke bak penampung cairan ,sehingga dapat mengurangi tekanan dari pompa agar pompa tersebut. Alat *bypass* ditunjukan pada **Gambar 3.8**.



Gambar : 3.8 *Bypass*

D. Kran

Kran merupakan alat untuk menutup atau membuka aliran air. Kran air memang menjadi salah satu perangkat yang luput dari pengamatan. Keberadaannya yang walaupun kecil justru memiliki fungsi dan peran yang sangat signifikan yaitu dalam hal-hal yang berkaitan dengan penggunaan air. Kran

berfungsi sebagai katup akhir dalam proses pendistribusian air. Dalam penelitian ini kran digunakan sebagai pengatur laju aliran cairan CaCO_3 yang akan dialirkan ke kupon-kupon pengujian, sesuai dengan laju aliran yang sudah ditentukan yaitu 50 ml/menit, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Gambar : 3.9 Pengaturan laju aliran kran.

E. Rumah Sampel

Rumah sampel atau *Nipple* digunakan untuk menyambung pipa dan sebagai tempat peletakan sampel-sampel pengujian. Jumlah *nipple* atau rumah-rumah pengujian ada empat buah dan disitulah akan diletakan kupon-kupon pengujian. Alat *nipple* atau rumah-rumah pengujian di tunjukkan pada **Gambar 3.10**.



Gambar : 3.10 *Nipple*

F. Grafik Panel

Autonic grafik panel digunakan untuk pembacaan dan mendukung berbagai aplikasi data. Fungsi *autonik* grafik panel yaitu sebagai perekam data yang memungkinkan untuk mengumpulkan dan *backup* berbagai data, serta didukung oleh *true color* (16,7 juta warna), layar TFT LCD, Ethernet, port USB, dan LCD dengan layar sentuh untuk meningkatkan kenyamanan pengguna. **Gambar 3.11** adalah *Autonic Graphic Panel GP-SO70*. *Specification Autonic Graphic Panel* yang di gunakan adalah sebagai berikut :

- *Merk* : Autonics Graphic Panel
- *Type* : GP-SO70
- *Power supply* : 24 VDC
- *Power consumption* : Max. 7.2W
- *LCD Type* : TFT Color LCD

- *Resolution* : 800 x 480 dot
- *Color* : 16.777.216 color



Gambar : 3.11 Autonics Graphic Panel GP-SO70

G. Lampu Indikator

Lampu LED atau kepanjangannya *Light Emitting Diode* adalah suatu lampu indikator dalam perangkat elektronika yang biasanya memiliki fungsi untuk menunjukkan status dari perangkat elektronika tersebut. Lampu LED dalam penelitian ini digunakan untuk menunjukkan kinerja dari mesin alat uji. Heater beroperasi ditunjukkan dengan lampu indikator berwarna merah menyala, sedangkan lampu indikator warna kuning menyala menunjukkan bahwa pompa sedang beroperasi, dan lampu hijau akan menyala jika kipas pendingin sedang beroperasi. Lampu LED dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



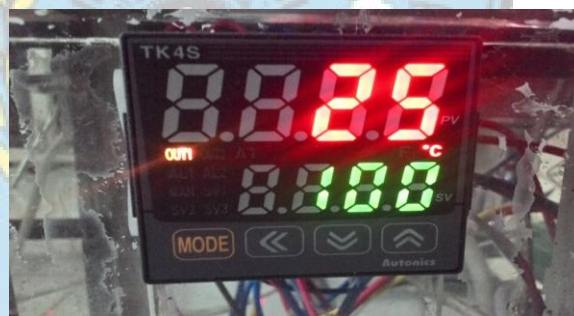
Gambar : 3.12 Lampu LED

H. Temperatur Kontrol

Temperature Controller atau kontrol suhu adalah proses di mana perubahan suhu ruang dapat diukur atau terdeteksi, dan bagian dari energi panas yang ke dalam atau keluar dari ruang disesuaikan untuk mencapai suhu rata-rata yang diinginkan. Digital *temperature controller* ini adalah alat yang bisa mengontrol suhu untuk mengendalikan *cooler / heater* sesuai dengan settingan yang

diinginkan. Untuk mendapatkan suhu yang diinginkan maka *thermocontrol* tersebut diatur sesuai dengan titik penyetelan yang diharapkan. Suhu yang aktual ini dibandingkan dengan kontrol temperatur yang diinginkan, atau titik penyetelan, dan menyediakan suatu keluaran untuk suatu elemen kendali. *Temperature control* digunakan untuk mengatur temperatur atau suhu. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.13**. *Specification Temperature Control TK 4 S* yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Merk : Autonics *Temperature Control*
- Type : TK 4 S
- Power supply : 100-240 VAC 50/60 Hz
- Power Consumption : Max 8 VA
- Input type : *Thermocouple*
- Control type : *Heating. Cooling*
- Option input : *Digital input*

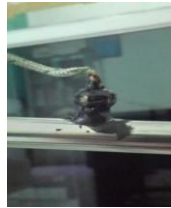


Gambar : 3.13 *Digital Temperature Controller TK 4S*

I. Termo couple

Termocouple adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik (voltase). *Thermocouple* yang sederhana dapat dipasang dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu yang cukup besar dengan batas kesalahan pengukuran kurang dari 1°C. Cara kerja *termocouple* berdasarkan prinsip jika dua ujung penghantar yang berbeda dilebur menjadi satu di salah satu sisi maka akan menghasilkan tegangan emf

(electromotive force) jika di ujung sisi yang lain berbeda temperatur dalam penelitian ini *termocouple* di gunakan untuk menghitung suhu aliaran yang ada pada pipa-pipa pengujian. Alat *termocouple* dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.



Gambar : 3.14 *Termocouple*

J. Converter

Converter autonic adalah sebagai perekam data yang dihasilkan *counter* dengan penggunaan *software* dari *autonic*. Untuk bisa dikomunikasikan antara *The rmodigital* dengan PLC maka dibutuhkan sebuah perangkat lagi yaitu *Serial Converter Manual*. SCM berfungsi sebagai *converter* dari port RS485 ke port RS323. Pada PLC hanya terdapat port RS323, sedangkan port yang dimiliki pada *thermodigital* RS485 sehingga diperlukan sebuah SCM untuk mengkonverter dari RS485 ke RS323. Alat tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.15**. *Specification* alat *converter autonic* SMC Series adalah sebagai berikut:

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



Gambar : 3.15 *Converter autonic*

K. Gelas ukur

Gelas ukur dapat terbuat dari gelas (*polipropilen*) ataupun plastik. Fungsi Gelas ukur adalah untuk mengukur *volume* 10 hingga 2000 mL. Gelas ukur dapat digunakan untuk mengukur *volume* segala benda, baik benda cair maupun benda padat pada berbagai ukuran *volume*. Gelas ukur pada penelitian ini digunakan untuk mengukur *volume* cairan CaCO_3 yang keluar dari rumah-rumah kupon pengujian dan setelah itu dilakukan pengukuran untuk konduktivitas cairan CaCO_3 . Gelas ukur dapat dilihat pada **Gambar 3.16**.



Gambar : 3.16 Gelas ukur

L. Power supply

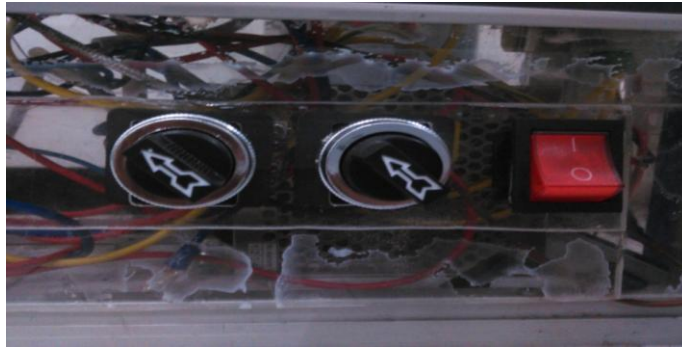
Prinsip kerja *power supply* di atas adalah menurunkan tegangan ac 220 volt menjadi dc 9 volt kemudian melakukan perubahan sinyal bolak balik menjadi sinyal listrik searah (DC). ditunjukkan pada **gambar 3.17**.



Gambar : 3.17 Power Supply

M. Saklar

Saklar adalah komponen listrik yang berfungsi sebagai pemutus dan penyambung arus listrik dari sumber arus ke beban listrik pada rangkaian listrik tertutup. Saklar utama berfungsi sebagai pengaman ketika terjadi *trouble* pada sistem. Saklar ditunjukkan pada **Gambar 3.18**.



Gambar : 3.18 Saklar

N. Saklar Mekanik

Saklar mekanik umumnya digunakan untuk otomatisasi dan juga proteksi rangkaian. Saklar mekanik akan *ON* atau *OFF* secara otomatis oleh sebuah proses perubahan parameter misalnya posisi, tekanan, atau temperatur. Saklar akan *ON* atau *OFF* jika set titik proses yang ditentukan telah tercapai. Terdapat beberapa tipe saklar mekanik, antara lain: *Limit Switch*, *Flow Switch*, *Level Switch*, *Pressure Switch* dan *Temperature Switch*. Contoh penggunaannya seperti pada magicom adalah saklar *Temperature Switch*. Saklar mekanik dapat dilihat pada **Gambar 3.19**.



Gambar : 3.19 Saklar Mekanik

3.6 Cairan yang digunakan :

- a. Aquades (H_2O)
- b. Larutan $CaCO_3$

3.6.1 Deskripsi Cairan yang digunakan :

- a. H_2O (aquades)

Aquades adalah hasil dari penyulingan sama dengan air murni atau H₂O karena H₂O hampir tidak mengandung mineral sehingga membebaskan ginjal dari pekerjaan berat. Sedangkan air adalah pelarut yang universal oleh karena itu air dengan mudah “menyerap” atau melarutkan berbagai partikel yang ditemuinya dan dengan mudah menjadi tercemar. Dalam siklusnya di dalam tanah, air terus bertemu dan melarutkan berbagai mineral anorganik, logam berat, dan mikroorganisme jadi air bukan H₂O karena mengandung banyak mineral.

b. Larutan CaCO₃

Kalsium karbonat (CaCO₃) merupakan suatu zat padat putih, tak berbau, tak berasa, terurai pada 825°C, tak beracun, larut dalam asam dengan melepas CO₂, dan dijumpai di alam sebagai kalsit, napal, aragonit, travertin. CaCO₃ dapat dihasilkan dari reaksi sebagai berikut:



(Zhang et al., 2002).

3.7 Alat Ukur Yang Digunakan

a) Timbangan

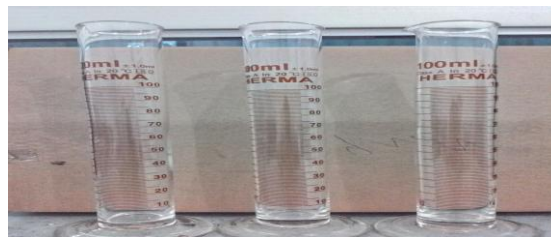
Timbangan adalah alat yang dipakai melakukan pengukuran masa suatu benda. Timbangan dalam penelitian ini digunakan atau dipakai untuk menimbang berat kupon pengujian sesuai dengan berat yang sudah ditentukan. Timbangan yang digunakan di tunjukan pada **Gambar 3.20**.



Gambar : 3.20 Timbangan

b) Gelas Ukur

Gelas ukur terbuat dari gelas plastik (*polipropilen*). . Gelas ukur dapat digunakan untuk mengukur volume segala benda, baik benda cair maupun benda padat pada berbagai ukuran volume. Gelas ukur ditunjukkan pada **Gambar 3.21**.



Gambar : 3.21 Gelas ukur

c) *Conductivity Meter*

Conductivity meter adalah alat untuk mengukur nilai konduktivitas listrik pada suatu larutan atau cairan. Nilai konduktivitas listrik sebuah zat cair menjadi referensi atas jumlah ion serta konsentrasi padatan (*Total Dissolved Solid*) yang terlarut di dalamnya. Pengukuran jumlah ion di dalam suatu cairan menjadi penting untuk beberapa kasus. Konsentrasi ion di dalam larutan berbanding lurus dengan daya hantar listriknya. Semakin banyak ion mineral yang terlarut, maka akan semakin besar kemampuan larutan tersebut untuk menghantarkan listrik. Sifat kimia inilah yang digunakan sebagai prinsip kerja *conductivity meter*. Keakuratan instrumentasi ini bisa diuji dengan melakukan pengukuran terhadap konduktivitas aquades. Bila *conductivity meter* menunjukkan angka nol pada waktu mengukur konduktivitas aquades maka instrumen ini akurat sebab aquades tidak memilikin ion-ion. **Gambar 3.22** adalah alat *Conductivitymeter*.



Gambar : 3.22 *Conductivity Meter*

d) Stop Watch

Stop watch dalam penelitian ini digunakan sebagai pengukur waktu dalam pengambilan data saat pengujian berlangsung. Alat tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.23**.



Gambar : 3.23 Stopwatch

3.8 Pembuatan Sampel Pengujian

Sampel merupakan komponen yang dipasang pada sistem aliran yang diharapkan, disitulah akan terjadi pengendapan kerak kalsium karbonat. Jumlah sampel ada empat dipasang dari bawah ke atas masuk ke rumah sampel. Sampel terbuat dari pipa tembaga yang memiliki panjang 30 mm dengan diameter luar 18 mm dan diameter dalam 12,5 mm. **Gambar 3.24** adalah pengujian atau sampel pengujian.



Gambar : 3.24 Sampel pengujian

3.8.1 Pemotongan dan *Flaring* Sampel Pengujian

Pipa atau kupon pengujian dipotong dengan panjang 30 mm dengan diameter luar 18 mm dan diameter dalam 12,5 mm. kemudian kupon di *flaring* untuk mengembangkan ujung pipa agar dapat dipasang dirumah kupon.

3.8.2 Penimbangan dan Pengamplasan Sampel Pengujian

Penimbangan dilakukan untuk mengetahui berat pipa yang akan digunakan dengan berat yang sudah ditentukan yaitu 3,5 gram. Untuk memperoleh berat yang diinginkan perlu dilakukan pengamplasan agar berat yang ditentukan bisa

tepat sesuai dengan berat yang sudah ditetapkan. Proses pengampelasan dan penimbangan dapat dilihat pada **Gambar 3.25** dan **Gambar 3.26**.



Gambar : 3.25, 3.26 Penimbang dan Pengampelasan Sampel Pengujian

3.9 Variabel Penelitian

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

1. Variabel tetap.

Variabel tetap dalam penelitian yaitu konsentrasi larutan dan laju alir.

2. Variabel respon.

Variabel temperatur 25°C dan 40°C

3.10 Pelaksanaan Percobaan

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan percobaan alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* dapat bekerja sesuai dengan yang kita inginkan, sekaligus juga melakukan tes kebocoran rumah-rumah pipa yang telah terpasang apakah terjadi suatu kebocoran atau tidak. Setelah itu melakukan penyetelan laju aliran. Namun apabila alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* tidak bekerja dengan yang kita inginkan maka akan kembali ke tahap desain dan perakitan alat uji untuk melakukan modifikasi agar dapat bekerja dengan optimal. Pelaksanaan percobaan dapat dilihat pada **Gambar 3.27**.



Gambar : 3.27 Pelaksanaan percobaan

3.11 Pengujian Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

3.11.1 Peralatan Yang Dibutuhkan

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu kita siapkan peralatan yang dibutuhkan. Alat-alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* adalah sebagai berikut :

1. Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*
2. Gelas Ukur
3. *Conductivity meter*
4. Aquades
5. Cairan CaCO_3

3.11.2 Pelaksanaan Pengujian Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

Pengujian ini dilakukan dilakukan dengan menghitung devinisi aliran, dengan demikian alat yang di buat mempunyai laju alir stabil. Kecepatan aliran meninggalkan sampel-sampel pengujian tepat sesuai desain yaitu 50ml/menit.

Conductivity meter digunakan untuk mengukur konduktivitas larutan. Keakuratan instrumentasi ini bisa diuji dengan melakukan pengukuran terhadap konduktifitas aquades. Bila *conductivity meter* menunjukkan angka nol pada waktu mengukur konduktifitas aquades maka instrumen ini akurat sebab aquades tidak memilkin ion-ion. **Gambar 3.28** adalah gambar pelaksanaan pengujian Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*.



Gambar : 3.28 Pelaksanaan Pengujian

3.11.3 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan kecepatan aliran 50 ml/menit. Percobaan untuk pembentukan kerak CaCO_3 dengan menggunakan konsentrasi larutan 3500 ppm. Untuk jam pertama pencatat waktu pada saat yang sama juga diaktifkan dimana setiap dua menit sekali perlu dilakukan pengukuran terhadap konduktivitas larutan. Untuk mengukur konduktivitas larutan yang keluar dari sampel ditampung pada gelas ukur dan sesegera mungkin elektroda *conductivity meter* dimasukkan. *Conductivity meter* akan mengukur nilai konduktivitas larutan angka yang terakhir inilah yang dicatat dan seterusnya dilakukan berulang-ulang sampai satu jam kemudian untuk jam kedua dilakukan setiap empat menit sekali untuk pengukuran konduktivitas larutan kemudian untuk jam ketiga dilakukan setiap enam menit sekali untuk pengukuran konduktivitas larutan dan untuk jam keempat dilakukan setiap delapan menit sekali pengukuran konduktivitas larutan. Setelah empat jam pompa dihentikan dan saluran menuju kupon di lepas, satu jam kemudian kupon di ambil dari rumah kupon dan di keringkan. Penimbangan masa kerak di lakukan pada waktu kerak masih menempel pada kupon. Selanjutnya selisih masa kupon dengan kerak dikurangi masa kupon sebelum kerak adalah masa kerak itu sendiri. Pelaksanaan pengambilan data dapat dilihat pada **Gambar 3.29**



Gambar : 3.29 Pelaksanaan pengambilan data

3.11.4 Prosedur pengujian

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

1. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan.
2. Mengisi bak pengampung dengan larutan CaCO_3 .
3. Pemasangan sampel ke rumah-rumah sampel.
4. Hubungkan stop kontak alat uji dengan sumber tegangan.
5. Tekan sakelar pompa ke posisi *ON*, jika lampu indikator kuning menyala berarti pompa sudah beroperasi.
6. Putar keran untuk mengatur laju aliran.
7. Tekan sakelar heater dan kipas pendingin ke posisi *ON*, jika lampu indikator merah dan biru menyala berarti heater dan kipas pendingin sudah beroperasi.
8. Lakukan pengambilan data dengan mengukur konduktivitas larutan.
9. Tekan sakelar ke posisi *OFF* dan lepas stop kontak dari sumber tegangan.

Ini sekaligus mengakhiri prosedur pengujian.

Dan terakhir dilakukan pelepasan sampel pengujian.

3.12 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menelaah dan mengelola data dari hasil penelitian dan selanjutnya dilakukan pengujian SEM dan XRD.

SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang dapat mengamati dan menganalisis karakteristik struktur mikro dari bahan padat yang konduktif maupun yang nonkonduktif. Sistem pencahayaan pada SEM menggunakan radiasi elektron yang mempunyai $\lambda = 200 - 0,1 \text{ \AA}$, daya pisah (resolusi) yang tinggi sekitar 5 nm sehingga dapat dicapai perbesaran hingga ± 100.000 kali dan menghasilkan gambar atau citra yang tampak seperti tiga dimensi karena mempunyai *depth of field* yang tinggi. Sehingga SEM mampu menghasilkan gambar atau citra yang lebih baik dibandingkan dengan hasil mikroskop optik. Aplikasi mikroskop elektron ini tidak hanya terbatas pada analisis logam dan paduan di bidang metalurgi, melainkan dapat diaplikasikan di berbagai bidang

lain, seperti farmasi, pertanian, biologi, kedokteran dan industri bahan elektronika, komponen mesin serta pesawat terbang.

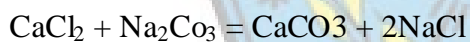
Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM - XRD. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal dan pengujian XRD untuk membuktikan bahwa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

3.14 Pembuatan Larutan CaCO_3

Penelitian yang dilakukan untuk mengkaji pembentukan kerak pada pipa beraliran laminar dengan pembuatan larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 . Untuk membuat larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 50 ml/menit. Untuk penelitian ini menggunakan larutan dengan konsentrasi 3500 ppm.

Perhitungan untuk membuat larutan CaCO_3 dengan 10 liter aquades yaitu :

Untuk membentuk Kalsium Karbonat



Hitungan buat larutan

$$\text{Cl} = 35,5 \longrightarrow \text{Cl}_2 = 71$$

Larutan CaCl_2 dengan konsentrasi $\text{Ca}^{2+} = 3500 \text{ ppm}$

$$3500 \text{ ppm } \text{Ca}^{2+} = \frac{3500 \text{ mg } \text{Ca}}{1 \text{ liter}}$$

Dibutuhkan 3500mg Ca^{2+} per 1 liter CaCl_2

$$1 \text{ g mol } \text{CaCl}_2 = 1 \times \text{BM } \text{CaCl}_2$$

$$= 1(40 + 71)$$

$$= 111 \text{ g } \text{CaCl}_2$$

$$\text{Ca saja} = \frac{3,5}{40} \times 111 \text{ g} = 9,71 \text{ Ca}$$

$$10 \text{ liter} = 97,1 \text{ g } \text{CaCl}_2$$

$$\text{CaCl}_2 \text{ yang dilarutkan} = \frac{97,1}{111} = 0,87 \text{ g/mol} = 0,87 \text{ mol}$$

Jadi Na_2CO_3 yang dibutuhkan

$$0,87 \text{ mol} \times \text{BM Na}_2\text{CO}_3$$

$$0,87 \text{ mol} \times \frac{106 \text{ g}}{\text{mol}} = 92,7 \text{ g}$$

Setelah dilakukan perhitungan CaCO_3 yang sudah jadi, kemudian dilarutkan dengan 10 liter aquades dengan cara di masak atau di panaskan kemudian di aduk secara merata hingga tercampur larutan CaCO_3 dengan konsentrasi larutan 3500 ppm ke dalam 10 liter aquades. Larutan tersebut kemudian digunakan untuk pengujian pembentukan kerak CaCO_3



BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian karakterisasi pipa tembaga

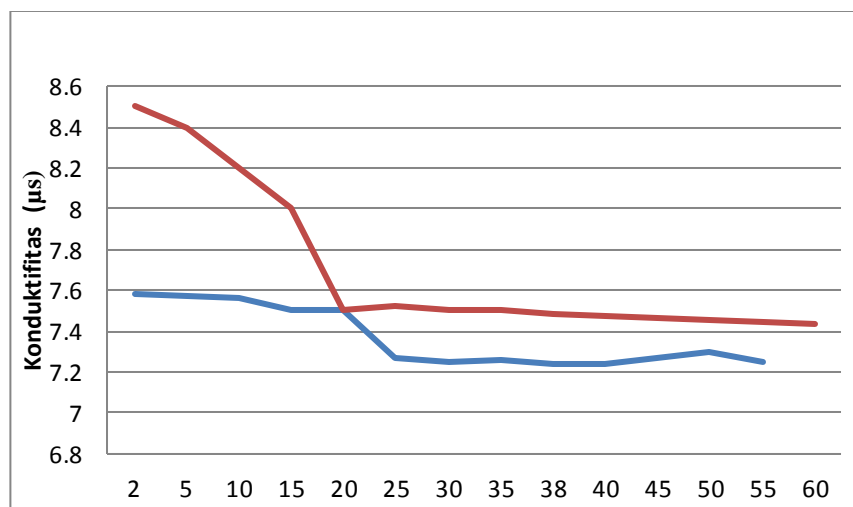
Unsur-unsur tembaga yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Unsur-unsur Tembaga

UNSUR	SAMPEL UJI	
	15/S2059 (%)	Standar Deviasi
Cu	99,4	0,0805
Zn	0,135	0,0458
Pb	<0,0100	0,0000
Sn	0,206	0,0604
Mn	<0,0020	0,0000
Fe	<0,0050	0,0000
Ni	0,0298	0,0204
Si	0,0121	0,0165
Mg	<0,0050	0,0000
Cr	0,0159	0,0041
Al	<0,0050	0,0000
As	0,0402	0,0066
Be	<0,0020	0,0000
Ag	0,0046	0,0016
Co	0,0295	0,0103
Bi	0,0242	0,0098
Cd	0,0138	0,0025

4.2 Hasil Konduktivitas Larutan CaCO_3 Dengan Suhu 25^0c dan Suhu 40^0c

Pada konsentrasi larutan CaCO_3 3500 ppm dengan aliran fluida dan laju alir 50 ml/menit dimana Diperoleh hubungan antara konduktivitas dan waktu dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas Suhu 25^0c dan Suhu 40^0c

Pada konsentrasi larutan CaCO_3 3500 ppm dengan aliran fluida dan laju alir 50 ml/menit dengan suhu 25^0c , dimana setiap 2 menit sekali dilakukan pengukuran terhadap konduktivitas larutan. sama dengan suhu 40^0c pengukuran konduktivitas dilakukan 2 menit sekali. untuk warna merah merupakan konduktivitas suhu 25^0c dan warna garis biru merupakan konduktivitas suhu 40^0c .

4.3 Waktu Induksi

Waktu induksi disini yaitu waktu yang dibutuhkan oleh senyawa kalsium karbonat untuk membentuk inti Kristal pertama kali. Induksi dapat diketahui ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam, hal ini menunjukkan bahwa ion kalsium telah bereaksi dengan ion karbonat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk laju alir 50 ml/menit pada

konsentrasi larutan CaCO_3 3500 ppm. Hal ini bisa dibaca melalui grafik hubungan antara konduktifitas dengan waktu yang dicantumkan pada Gambar 4.1, Pada grafik diatas terlihat bahwa waktu induksi untuk laju alir 50 ml/menit adalah sebesar 11 menit untuk suhu 25^0 c dan 7 menit untuk suhu 40^0 c .

4.4 Perhitungan Massa Kerak

Perhitungan massa kerak dan laju pertumbuhan kerak rata-rata dilakukan dengan tujuan untuk memudahkan dalam analisa data. Massa kerak diketahui dari selisih antara massa kupon yang telah ditumbuhi dengan massa kupon sebelum percobaan (tanpa kerak). Massa kerak dari kupon 1 dijumlahkan dengan massa kerak kupon 2, kupon 3, dan kupon 4 selanjutnya ditabulasikan seperti terlihat pada **tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Perhitungan Massa Kerak untuk Laju Aliran 50 ml/menit dengan Konsentrasi Larutan 3500 ppm suhu 25^0 c.

No	Sampel	Berat Sebelum (gram)	Berat Sesudah (gram)	Berat Kerak (gram)
1	Sampel 1	3,158	3,237	0,079
2	Sampel 2	3,164	3,218	0,054
3	Sampel 3	3,053	3,103	0,050
4	Sampel 4	3,194	3,211	0,017
Total		12,569	12,769	0,200

Pada percobaan pengerakan untuk laju aliran 50 ml/menit dengan konsentrasi larutan 3500 ppm dan suhu 25^0 c didapatkan massa kerak untuk sampel satu 0,079 gram, sampel dua 0,054 gram, sampel tiga 0,050 gram, sampel empat 0,017 dan total untuk massa kerak untuk semua sampel adalah 0,200 gram.

Tabel 4.3 Perhitungan Massa Kerak untuk Laju Aliran 50 ml/menit dengan Konsentrasi Larutan 3500 ppm suhu 40^0 c.

No	Sampel	Berat Sebelum (gram)	Berat Sesudah (gram)	Berat Kerak (gram)
1	Sampel 1	3,158	3,737	0,579
2	Sampel 2	3,164	3,746	0,582
3	Sampel 3	3,053	3,579	0,526

4	Sampel 4	3,194	3,791	0,597
Total		12,569	14,853	2,284

Pada percobaan pengerakan untuk laju aliran 50 ml/menit dengan konsentrasi larutan 3500 ppm dan suhu 40⁰c didapatkan massa kerak untuk sampel satu 0,579gram, sampel dua 0,582gram, sampel tiga 0,526gram, sampel empat 0,597dan total untuk massa kerak untuk semua sampel adalah 2,284 gram.

4.5 Foto Hasil *Scaling* CaCO₃

Foto hasil pengerakan CaCO₃ dengan konsentrasi larutan 3500 ppm dan laju alir 50 ml/menit dengan suhu 25⁰c dan 40⁰c dapat di lihat pada **Gambar 4.2**, **Gambar 4.3**,**Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**.



Gambar 4.2 sebelum *scaling*



Gambar 4.3 Hasil *scaling* 25⁰c

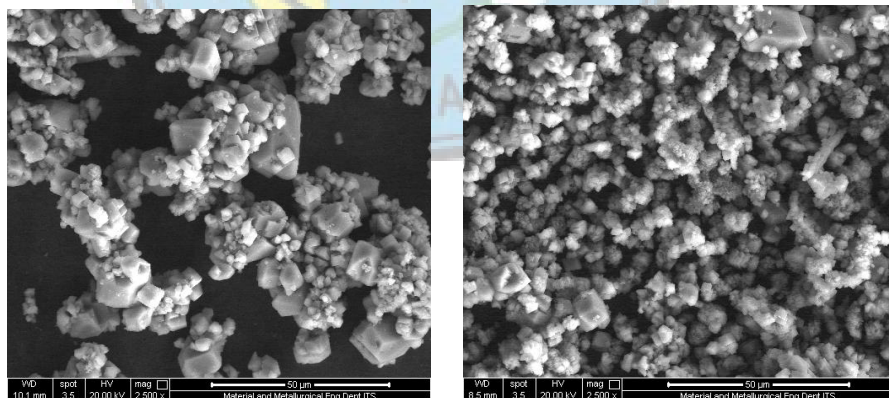
Gambar 4.4 Hasil *scaling* suhu 40⁰c



Gambar 4.5 Hasil *scaling* CaCO₃ suhu 25⁰ c dan suhu 40⁰ c

4.6 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 (CaCO₃). Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6. Hasil pengujian SEM suhu 25⁰ dan 40⁰ c dengan perbesaran 2.500 kali.

Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.6 dengan perbesaran 2.500 kali. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan

CaCO₃ 3500 ppm dengan aliran fluida dan laju alir 50 ml/menit suhu 25⁰c dan 40⁰c sama-sama menghasilkan sistem kristalisasi *rombohedral*.perbedaan Kristal hanya terletak pada kerapatan kerak saja.suhu 40⁰c memiliki bentuk kerapatan yang lebih rapat daripada suhu 25⁰c.

Rombohedral merupakan ciri-ciri khas dari bentuk kristal CaCO₃. Mengacu pada sistem kristal Pada sistem kristal ini panjang rusuk memiliki ukuran yang sama ($a=b\neq c$). sedangkan sudut-sudutnya adalah $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$. Sehingga bisa disimpulkan menurut kajian morfologi yang telah dibahas sebelumnya yaitu pada tinjauan pustaka kristal CaCO₃ yang dihasilkan melalui percobaan mempunyai bentuk *ortorombik*.

4.7 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*).unsur yang terdapat pada pengujian EDS antara lain terdapat senyawa karbon (C),oksigen (O),klor (Cl),kalsium (Ca),tembaga (Cu), dan seng (Zn).

Tabel Hasil EDS dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.

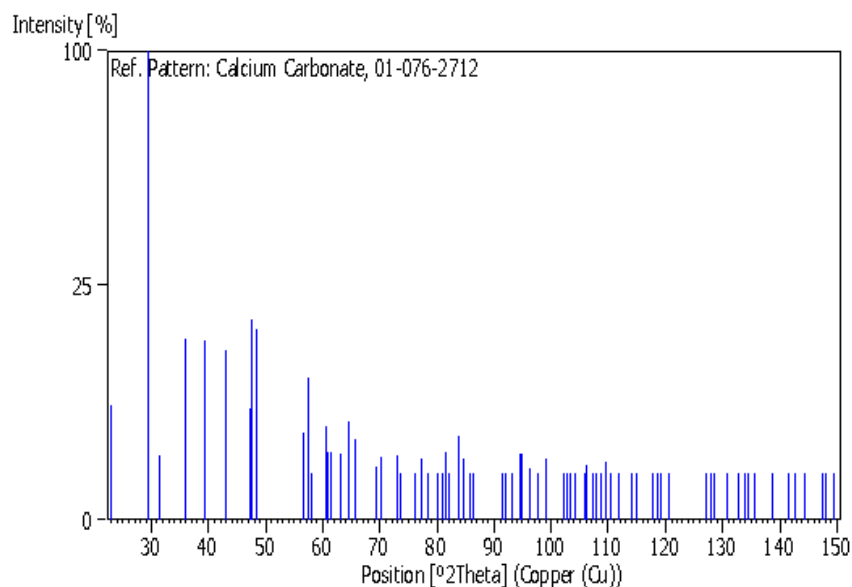
TABEL 4.3 HASIL EDS

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%
C	0,277	19,97	0,15	29,47
O	0,525	53,15	0,49	58,89
Cl	2,621	0,12	0,01	0,06
Ca	3,690	25,19	0,13	11,14
Cu	8,040	0,89	0,06	0,25

Zn	8,630	0,69	0,06	0,19
-----------	-------	------	------	------

4.8 Pengujian XRD

Difraksi sinar X (X-ray Diffractometer), atau yang sering dikenal dengan XRD, adalah merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. XRD (X-Ray Diffraction) alat ini digunakan untuk mendeteksi senyawa kristal didalam bahan.



Gambar 4.7 : Grafik Hasil XRD

Spesifikasi grafik XRD :

Name and formula

Reference code: 01-076-2712

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

Mineral name: Calcite, syn
Compound name: Calcium Carbonate
Empirical formula: CCaO_3
Chemical formula: $\text{Ca}(\text{CO}_3)$

Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral
Space group: R-3c
Space group number: 167
a (Å): 4.9910
b (Å): 4.9910
c (Å): 17.0680
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000

Volume of cell (10⁶ pm³): 368.20
Z: 6.00
RIR: 3.44

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient pressure
Alternate Pattern
Subfiles: Cement and Hydration Product
Ceramic
Common Phase
Excipient
Forensic
ICSD Pattern
Inorganic
Mineral
Pharmaceutical
Superconducting Material
Quality: Blank (B)

Dari hasil pengujian pengujian XRD di atas yang ditunjukkan pada grafik membuktikan bahwa kerak dari hasil penelitian itu betul-betul kerak kalsium karbonat (CaCO_3). Karena pada grafik diatas terdapat senyawa kalsit yg lebih

dominan. Kalsit merupakan salah satu mineral kalsium karbonat yang mengkristal dalam sistem *rombohedral*, biasanya tidak berwarna atau berwarna putih dan mempunyai kekerasan 3 pada skala Mohs dengan bobot jenis 0,200 dan 2,284. Kalsit adalah mineral pembentuk batuan dan merupakan penyusun utama dalam batu gamping, marmer, dan karbonatit.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang diuraikan pada BAB IV, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) pada pipa yang beraliran fluida dengan konsentrasi larutan 3500 ppm dengan laju alir 50 ml/menit didapatkan waktu induksi sebesar 11 menit untuk suhu 25^0c dan 7 menit untuk suhu 40^0c .
2. Pada penelitian pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) pada pipa yang beraliran laminer dengan konsentrasi larutan 3500 ppm dengan laju alir 50 ml/menit suhu 25^0c didapatkan berat kerak total sebesar 0,200 gram, sedangkan 2,284gram untuk suhu 40^0c
3. Dari hasil SEM CaCO_3 dengan konsentrasi larutan 3500 ppm dengan laju alir 50 ml/menit, diketahui dari bentuk kristal dan sistem kristalisasi yang dihasilkan adalah *Rombohedral* dimana *Rombohedral* merupakan ciri-ciri khas dari bentuk kristal CaCO_3

5.2 Saran

1. Untuk mengontrol pertumbuhan kerak biasa dilakukan dengan pengolahan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan yaitu dengan memperlama waktu induksi, berarti semakin lama waktu induksi semakin lama pula inti kristal terbentuk.
2. Perlu menambahkan zat aditif, penambahan aditif dapat mempengaruhi pertumbuhan Kristal sehingga akan menghambat laju pembentukan inti Kristal dan mengakibatkan waktu induksi lebih lama lagi.

3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar menggunakan konsentrasi yang berbeda agar dapat mengetahui perbedaan morfologi kerak CaCO_3 .
4. Untuk hasil kerak pada sampel difoto lebih jelas agar dapat terlihat hasil pembentukan keraknya sehingga dapat dilihat dari foto tebal keraknya.
5. Dalam pemisahan kerak dari sampel uji diperlukan ketelitian agar unsur tembaga tidak tercampur atau ikut menyatu dengan hasil kerak yang akan diuji morfologi, kristalografi, dan komposisi kimianya.
6. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan inhibitor (zat pencegah pembentukan kerak).
7. Perlu dikaji lebih lanjut mengenai pertumbuhan kerak CaCO_3 .



DAFTAR PUSTAKA

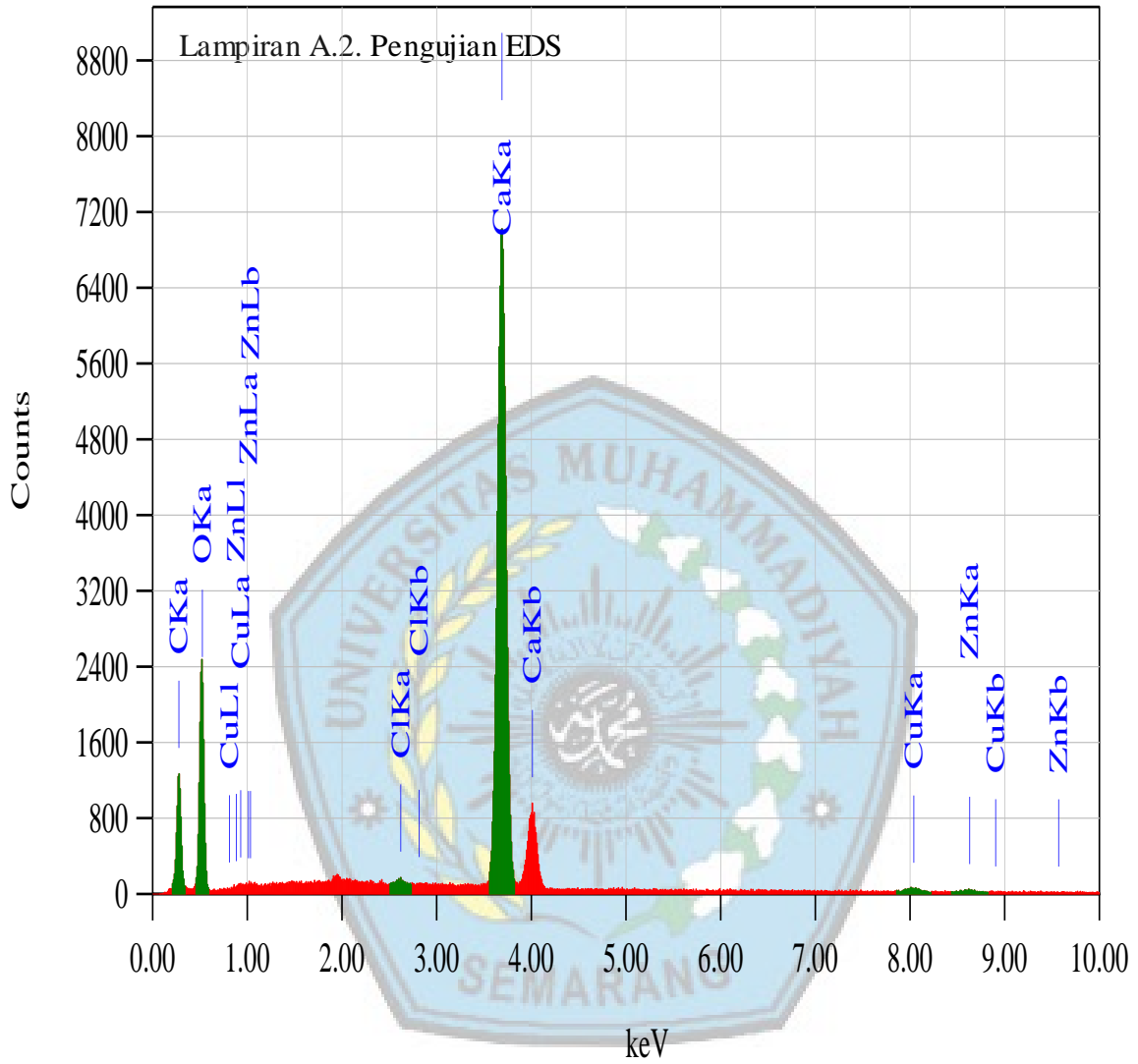
- Al-Barrak.K, Rowell. D.L, 2006, *The Solubility Of Gypsum In Calcareous Soil*, Science Direct, 136 pp:830-837.
- Ang. Haming, et all, 2006. *Gypsum Scale Formation Control In Pipe Flow System : A Systematic Study On The Effect Of Process Parameters An Additives*, Curtin University Of Technology, Perth, Australia.
- Asnawati. 2001. *Pengaruh Temperatur Terhadap Reaksi Fosfonat dalam Inhibitor Kerak pada Sumur Minyak.* *Jurnal ILMU DASAR*. Vol.2. No.1:20.
- Badr, A. and A. A. M. Yassin. 2007. *Barium Sulfate Scale Formation in Oil Reservoir During Water Injection at High - Barium Formation Water*. *Journal of Applied Sciences*. 7 (17) ; 2393 - 2403.
- Bhatia, A, (2003) *Cooling water problems and solutions*, Continuing Education and Development, Inc. 9 Greyridge Fram Court stony Point, NY 10980. Course no: M05-009.
- Cotton, F. Adan G. Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar*. UI-Press. Jakarta.
- Dewi, D.F. dan M. Ali . 2003. *Penyisihan Fosfat dengan Proses Kristalisasi dalam Reaktor Terfluidasi Menggunakan Media Pasir Silika*. *Jurnal Purifikasi*. Vol.4.No.4. 151-156.
- Grases, F, Perello, J, Isern, B and Costa-Bauza, A (2007) *Myo-inositol hexakisphosphate (phytate) inhibits calcium carbonate crystallisation in water*. *Water SA* vol.33 no.5 October 2007.
- Halimatuddahlia. 2003. *Pencegahan Korosi dan Scale Pada Proses Produksi Minyak Bumi*. Laporan Penelitian Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Hoang. Tung A, et all, 2006, *Effect Temperature On Scaling Of Calcium Sulfate In Pipe*, *Powder Technology* 179 pp: 31-37.
- <https://anggerdumas.wordpress.com/category/tugas-mekanika-fluida/>
- Isopescu, R., Mateescu, C., Mihai, M., Dabija, G. (2009), *the effects of organic additives on induction time and characteristics calcium carbonate*, *Chemical Engineering Research and design*, 388, no. 5.
- Jamaialahmadi, M dan Muller-Steinhagen, H, (2007) *Heat exchanger fouling and cleaning in the dehydrate process for the production acid*, *Chemical Engineering Research And Design*, 85, pp:245-255.
- Lestari, D.E. 2008. *Kimia Air, Pelatihan Operator dan Supervisor Reaktor Riset*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN. Serpong.
- Lisitsin, D., Yang, Q., Hasson, D., Semiat, R., (2005), *Inhibition Of CaCO₃ Scaling On NO Membranes By Trace Amounts Of Zinc Ions*, *Desalination*, 183 pp : 289-300.
- Patton, M.Q. (1990). *Qualitative Evaluation and Reserch Methods*. Newbury Park : Sage Publication.
- Popescu, Andrei (editor, Google Inc.) (22 Desember 2008). ["Geolocation API Specification: W3C Candidate Recommendation 07 September 2010"](#). W3C. Diakses 23 Januari 2013.

- Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantios, S.G., Karabelas, A.J., (2007), "A study of CaCO_3 scale formation and inhibition in RO and NF membrane processes.", *Desalination*, vol 296, pp; 171-184.
- Salimin, Z., dan Gunandjar. 2007. Penggunaan EDTA sebagai Pencegah Timbulnya Kerak pada Evaporasi Limbah Radioaktif Cair. Prosiding PPI PDIPTN. Pustek Akselerator dan Proses Bahan –BATAN. Yogyakarta.
- Suharso & Buhani. 2012. *Penanggulangan Kerak*.
- Svehla, G. 1990. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro. Alih Bahasa Oleh L. Setiono dan A. H pudjaatmaka*. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Syahri, M dan Sugiharto, B, (2008) *Scale Treatment pada Pipa Distribusi Crude Oil Secara Kimiawi*. Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Teknik Kimia.
- Wiji Mangestiyono. (2011). *Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum Pada Pipa Beraliran Laminir Dengan Parameter Laju Alir Dan Aditif Ion*. Gema Teknologi, Vol. 16 No.3.
- Zeiher, E.H.K., H. Bosco, and K. D. Williams. 2003. *Novel Antiscalant Dosing Control*. *Desalination* 157. 209-216.
- Zhang, K., M. Sun, P. Werner, A. J. Kovera, J. Albu, F. X. Pi-Sunyer, and C. N Boozer. 2002. *Sleeping metabolic rate in relation to body mass index and body composition*. *Int J Obes Relat Metab Disord* 26: 376-383.



Lampiran A.1. Data pengamatan nilai konduktifitas

Waktu (menit)	Konduktifitas	laju aliran (ml/menit)
2	8.49	60
4	8.47	60
6	8.47	60
8	8.47	60
10	7.65	60
12	7.63	60
14	7.62	61
16	7.62	61
18	7.65	61
20	7.64	61
22	7.62	61
24	7.61	60
26	7.60	60
28	7.60	60
30	7.58	60
32	7.59	60
34	7.51	60
36	7.48	60
38	7.50	60
40	7.48	60
42	7.46	60
44	7.43	60
46	7.42	60
48	7.41	59
50	7.41	59
52	7.41	59
54	7.40	59
56	7.40	59
58	7.39	59
60	7.40	59



Lampiran A.3. Pengujian XRD

