

**VARIASI TEMPERATUR PEMBENTUKAN KRISTAL
CaSO₄ PADA CONSENTRASI LARUTAN 3000 PPM
DENGAN LAJU ALIRAN 30 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:

SAHAL AHMAD ALBAB

C2A213003

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

2016

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

VARIASI TEMPERATUR PEMBENTUKAN KRISTAL CaSO_4
PADA CONSENTRASI LARUTAN 3000 PPM DENGAN LAJU
ALIRAN 30 ML/MENIT

Disusun oleh:

Sahal Ahmad Albab

C2A213003

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

Wakil Pembimbing

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

NIK. 28.6.1026.028

(Muh. Amin ST., MT.)

NIK. 28.6.1026.169

VARIASI TEMPERATUR PEMBENTUKAN KRISTAL CaSO_4
PADA CONSENTRASI LARUTAN 3000 PPM DENGAN LAJU
ALIRAN 30 ML/MENIT

Oleh :
Sahal Ahmad Albab
C2A213003
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
e-mail : sahal_gajacwa@yahoo.co.id

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 CaSO_4 dengan suhu 30^0 c dan suhu 50^0 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 CaCl_2 dan Na_2SO_4 menggunakan larutan Ca^{2+} berkonsentrasi 3000 ppm dengan laju alir 30 ml/menit, dapat menumbuhkan kerak CaSO_4 dengan Berat kerak sebesar 0,021 gram untuk suhu 30^0 c dan 0,052 untuk suhu 50^0 c waktu induksi yang dibutuhkan adalah 18 dan 14 menit. Dan dari hasil SEM CaSO_4 diketahui bentuk kristal yang dihasilkan seratus persen *Orthorombic*.

Kata Kunci : CaSO_4 , Waktu Induksi, Morfologi

Variation Analysis CaSO₄ Crystal Formation Inside Copper Pipeline
Which Flown by The PPM 3000 ppm Concentration With Laminar
Flow Rate Of 30 ml/min

by :
Sahal Ahmad Albab
C2A213003
Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering
Universitas Muhammadiyah Semarang
e-mail: sahal_gajacwa@yahoo.co.id

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 CaSO₄ in the pipe with the rate of laminar and inspect the result of accidence, crystalography 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 CaCl₂ and Na₂SO₄ using liquid of Ca²⁺ with a concentration 3000ppm with a rate of 30ml/minutes, can growing the encrustation up CaSO₄ with the total weight of encrustation is 0,021 gram for 30⁰ c and 0,052 gram for 50⁰ c, the time of induction that is needed is 18 and 14 minutes. And from the result of SEM CaSO₄ is known the crystal from that is produced a hundred percent *Orthorombic*.

Keyword : CaSO₄, time induction, Morphologi

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sahal Ahmad Albab

NIM : C2A213003

Judul Tugas Akhir : variasi temperatur pembentukan kristal CaSO_4 pada konsentrasi larutan 3000 PPM dengan laju aliran 30 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, Januari 2016

Yang menyatakan,

Sahal Ahmad Albab

SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Sahal Ahmad Albab
NIM : C2A213003
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
Jenis Penelitian : Tugas akhir / Tugas Akhir
Judul : variasi temperatur pembentukan kristal CaSO_4 pada konsentrasi larutan 3000 PPM dengan laju aliran 30 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, Januari 2015

Yang Menyatakan,

Sahal Ahmad Albab

MOTTO

- ❖ Kegagalan adalah keberhasilan yang tertunda.
- ❖ Jadikanlah pengalaman sebagai guru yang terbaik dalam kehidupan.
- ❖ Hormatilah Orangtuamu.
- ❖ Cobalah untuk terus selalu melakukan yang terbaik, agar tidak timbul penyesalan dikemudian harinya.
- ❖ Ketekunan, kedisiplinan, dan ketaqwaan adalah kunci keberhasilan.
- ❖ Kita tidak pernah tahu apa hasil dari perjuangan kita sebelum kita mencobanya.



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. Teman kuliah seangkatan 2013 yang telah mendukungku.
3. Semua rekan-rekan Teknik Mesin yang telah melukis begitu banyak kenangan.
4. Semua Dosen FT yang telah menuntunku dalam revisi.
5. Semua pegawai Universitas Muhammadiyah Semarang 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 “variasi temperatur pembentukan kristal CaSO_4 pada konsentrasi larutan 3000 PPM dengan laju aliran 30 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. Djamaludin Darwis, M.A, 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 2013 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, Januari 2016

Penulis,

Sahal Ahmad Albab

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	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvii
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	3
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 Sulfat (CaSO_4)	13
2.5	Kerak Kalsium Sulfat	14
2.6	Pengaruh Terbentuknya kerak Kalsium Sulfat (CaSO_4).....	15
2.7	Pengaruh pH Terhadap Terbentuknya Kerak (CaSO_4).....	15
2.8	Konsentrasi Larutan	16
2.9	Aliran Fluida	16
2.10	Pengaruh Temperatur Terhadap Pertumbuhan Kerak	17
2.11	Waktu induksi	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	19
3.2	Diagram Alir Penelitian	20
3.3	Skema alat prototype <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	21
3.4	Pembuatan Alat prototype <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	22
3.4.1	Diskripsi Alat uji <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	23
3.5	Bagian-bagian Alat Uji	23
3.6	Cairan Yang Digunakan	30
3.6.1.	Deskripsi Cairan Yang Digunakan	30
3.7	Alat Ukur Yang Digunakan	31
3.8	Pembuatan Sampel Pengujian	33
3.8.1.	Pemotongan dan Flaring Sampel Pengujian	33
3.8.2.	Penimbangan dan Pengamplasan Sampel Pengujian	34
3.9	Pelaksanaan Percobaan	34
3.10	Variabel Penelitian.....	35
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	36
3.11.3.	Teknik Pengambilan Data	36
3.11.4.	Prosedur Pengujian	37
3.12	Analisis Data	38

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pembuatan larutan CaSO_4	39
4.2	Hasil pengujian unsur-unsur pipa tembaga.....	40
4.3	Hasil Konduktivitas Larutan CaSO_4	41
4.4	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 XRD	45

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	46
5.2	Saran	47

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Sistem Kristalisasi	14
4.1	Hasil pengujian unsur-unsur pipa tembaga	46
4.2	Perhitungan Massa Kerak	54



DAFTAR GAMBAR

2.1	Sistem Kristal Kubus.....	8
2.2	Sistem Kristal <i>Tetragonal</i>	9
2.3	Sistem Kristal <i>Ortorombik</i>	10
2.4	Sistem Kristal <i>Monoklin</i>	11
2.5	Sistem Kristal <i>Triklin</i>	11
2.6	Sistem Kristal <i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	12
2.7	Sistem Kristal <i>Heksagonal</i>	14
2.8	Struktur Atom Kalsit dan Argonit.....	16
3.1	Lab. THERMOFLUID	21
3.2	Lab. Proses Produksi	21
3.3	Diagram Alir Penelitian	22
3.4	Skema <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	23
3.5	Desain prototype <i>Closed Circuit Scale Simulator</i>	24
3.6	Pompa.....	26
3.7	Bak Penampungan.....	26
3.8	<i>Bypass</i>	27
3.9	Kran.....	27
3.10	Rumah Sampel/ <i>Nipple</i>	28
3.11	Autonik grafik panel.....	29
3.12	Lampu LED.....	29
3.13	Digital temperatur kontrol.....	30
3.14	Termokopel	31
3.15	Converter	32
3.16	Gelas Ukur.....	33
3.17	Power Supply	33
3.18	Saklar.....	34
3.19	Saklar Mekanik	34
3.20	Timbangan.....	36
3.21	Gelas ukur	36
3.22	<i>Conductivity Meter</i>	37
3.23	Stop Watch	38

3.24	Sampel Pengujian	38
3.25	Penimbang Sampel Pengujian	39
3.26	Pengamplasan Sampel Pengujian	39
3.27	Pelaksanaan Percobaan	40
3.28	Pelaksanaan Pengujian	41
3.29	Pelaksanaan Pengambilan data.....	42
4.1	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	47
4.2	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	47
4.3	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	48
4.4	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	48
4.5	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	50
4.6	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	50
4.7	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	51
4.8	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	51
4.9	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas	52
4.10	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas.....	53
4.11	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas	53
4.12	Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas	54
4.13	Hasil <i>Scaling</i> CaSO ₄ 1.....	55
4.14	Hasil <i>Scaling</i> CaSO ₄ 2.....	55
4.15	Hasil <i>Scaling</i> CaSO ₄ 3.....	55
4.16	Hasil SEM Perbesaran 100.000 x.....	56
4.17	Hasil Pengujian EDS.....	57
4.18	Hasil pengujian XRD	58

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)



VARIASI TEMPERATUR PEMBENTUKAN KRISTAL CaSO_4 PADA
CONSENTRASI LARUTAN 3000 PPM DENGAN LAJU ALIRAN 30
ML/MENIT

Oleh :

Sahal Ahmad Albab

C2A213003

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Semarang

e-mail : sahal_gajacwa@yahoo.co.id

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 CaSO_4 dengan suhu 30^0 c dan suhu 50^0 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 CaCl_2 dan Na_2SO_4 menggunakan larutan Ca^{2+} berkonsentrasi 3000 ppm dengan laju alir 30 ml/menit, dapat menumbuhkan kerak CaSO_4 dengan Berat kerak sebesar 0,021 gram untuk suhu 30^0 c dan 0,052 untuk suhu 50^0 c waktu induksi yang dibutuhkan adalah 18 dan 14 menit. Dan dari hasil SEM CaSO_4 diketahui bentuk kristal yang dihasilkan seratus persen *Orthorombic*.

Kata Kunci : CaSO_4 , Waktu Induksi, Morfologi

Variation Analysis CaSO_4 Crystal Formation Inside Copper Pipeline
Which Flown by The PPM 3000 ppm Concentration With Laminar Flow Rate Of
30 ml/min

by :

Sahal Ahmad Albab

C2A213003

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering

Universitas Muhammadiyah Semarang

e-mail: sahal_gajacwa@yahoo.co.id

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 CaSO_4 in the pipe with the rate of laminar and inspect the result of accidente, crystalography 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_2SO_4 using liquid of Ca^{2+} with a concentration 3000ppm with a rate of 30ml/minutes, can growing the encrustation up CaSO_4 with the total weight of encrustation is 0,021 gram for 30°C and 0,052 gram for 50°C , the time of induction that is needed is 18 and 14 minutes. And from the result of SEM CaSO_4 is known the crystal from that is producted a hundred percent *Orthorombic*.

Keyword : CaSO_4 , time induction, Morphologi

**SURAT PERNYATAAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Sahal Ahmad Albab
NIM : C2A213003
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
Jenis Penelitian : Tugas akhir / Tugas Akhir
Judul : variasi temperatur pembentukan kristal CaSO_4 pada konsentrasi larutan 3000 PPM dengan laju aliran 30 ml/menit
Email : sahal_gajacwa@yahoo.co.id

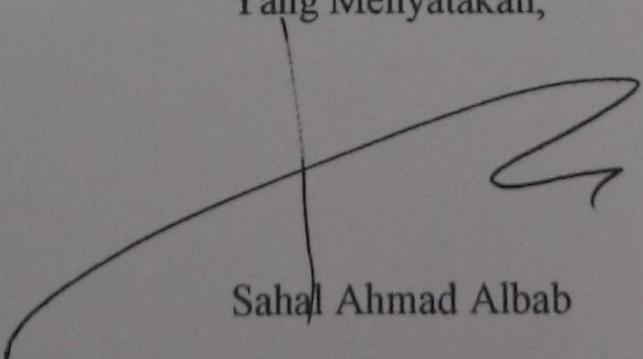
Dengan ini menyatakan bahwa saya menyetujui untuk :

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, 29 Februari 2015

Yang Menyatakan,


Sahal Ahmad Albab

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. Pembentukan deposit kerak (scale) CaSO_4 oleh air sadah (air dengan kandungan ion Ca yang tinggi) pada sistem perpipaan di industri maupun rumah tangga menimbulkan banyak permasalahan teknis dan ekonomis

Di dalam proses industri pergerakan 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 CaSO_4 , CaF_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 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. Temperatur sistem dimana terjadi proses pergerakan sangat bervariasi. Peneliti melakukan pembatasan temperatur dengan memilih temperatur kamar dengan alasan bahwa pada temperatur tersebut proses pergerakan 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 CaSO_4 didalam pipa. Kemudian mengkaji hasil morfologi, kristalografi kerak dan komposisi kimianya melalui uji SEM dan XRD.

1.2.2. Batasan masalah

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan kerak yang dikaji yaitu kerak CaSO_4 . Pemilihan ini didasari pertimbangan bahwa kerak CaSO_4 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.. 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 CaSO_4 menggunakan suhu 30°C dan 50°C didalam pipa dengan aliran fluida.
3. Mengkaji hasil morfologi, kristalografi kerak dan komposisi kimianya melalui uji SEM dan XRD.

1.4. Metodologi Penulisan

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan pembentukan kristal CaSO_4 pada konsentrasi larutan 3500 PPM dengan laju aliran 30 ml/menit dengan suhu 30°C dan suhu 50°C .

2. Perancangan

Melakukan perancangan skema alat *closed circuit scale simulator*.

3. Pembuatan Alat

Membuat rangkaian alat *closed circuit scale simulator*.

4. Kalibrasi peralatan

Uji laboratorium dan analisa data.

5. 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 CaSO_4 .

BAB II LANDASAN TEORI, Bab ini berisi tentang uraian teori-teori tentang proses pembentukan kerak serta penjelasan tentang kerak CaSO_4 . Teori-teori ini diolah dari berbagai macam sumber antara lain : buku, jurnal-jurnal tentang kerak CaSO_4 , 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 CaSO_4 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 CaSO_4 dan analisa yang telah diuraikan pada bab empat. Saran-saran bertujuan untuk memberikan masukan kepada penulis dan para praktisi yang berkecimpung di dunia pengerakan CaSO_4 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 CaSO_4 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 ditemplei 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).

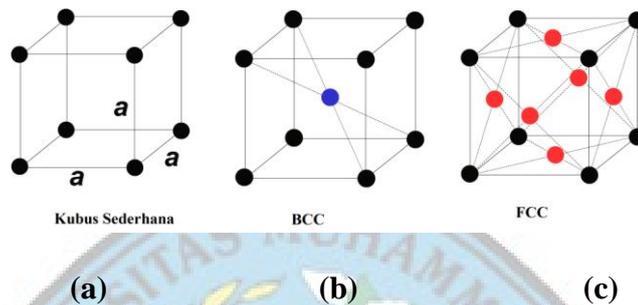
2.3. Sistem Kristal

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*).

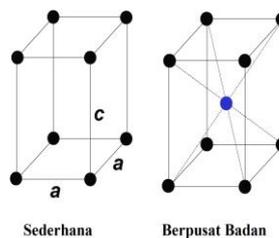
Berikut bentuk dari ketiga jenis kubus yaitu pada kubus sederhana masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) kubus, pada kubus BCC masing-masing terdapat satu atom pada semua pojok kubus, dan terdapat satu atom pada pusat kubus (yang ditunjukkan dengan atom warna biru). Pada kubus FCC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

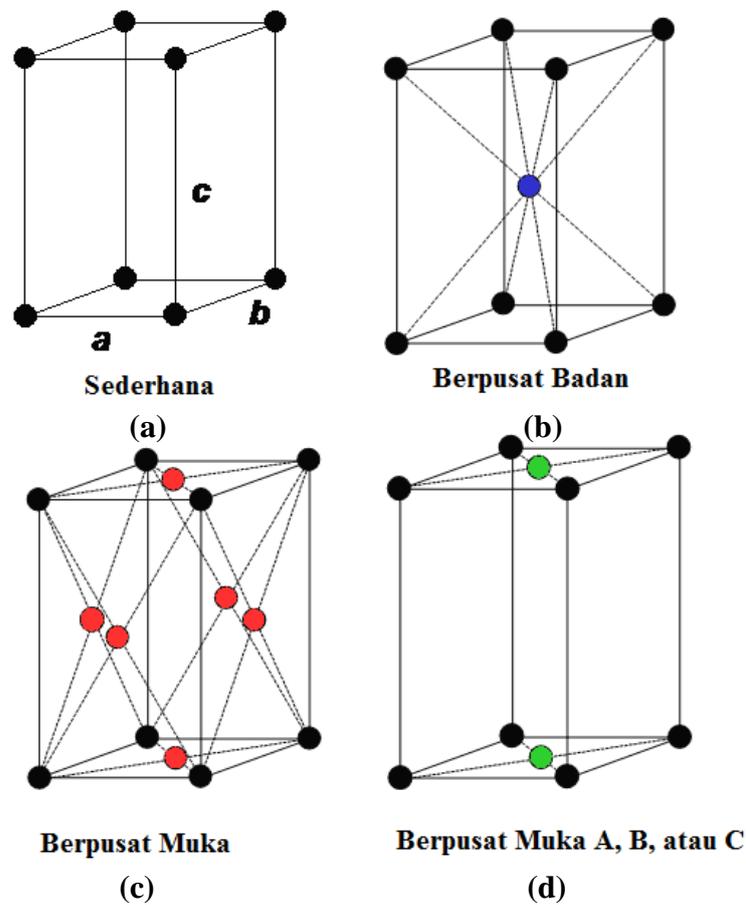
Pada sistem kristal *tetragonal* dua rusuknya yang memiliki panjang sama ($a = b \neq c$) dan semua sudut ($\alpha = \beta = \gamma$) sebesar 90° . Pada sistem kristal *tetragonal* ini hanya memiliki dua bentuk yaitu sederhana dan berpusat badan. Pada bentuk *tetragonal* sederhana mirip dengan kubus 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](http://www.rolanrusli.com))

2.3.3 Sistem Kristal *Ortorombik*

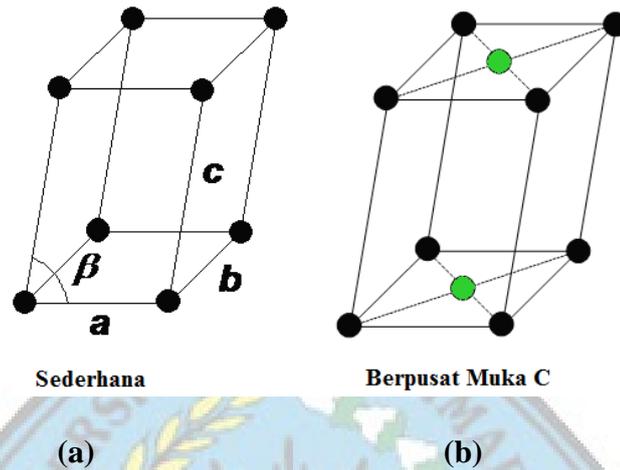
Sistem kristal *ortorombik* terdiri atas 4 bentuk yaitu : *ortorombik* sederhana, *body center* (berpusat badan) yang ditunjukkan atom dengan warna merah, berpusat muka (yang ditunjukkan atom dengan warna biru), dan berpusat muka pada dua sisi *ortorombik* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau). 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**.



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

2.3.4 Sistem Kristal *Monoklin*

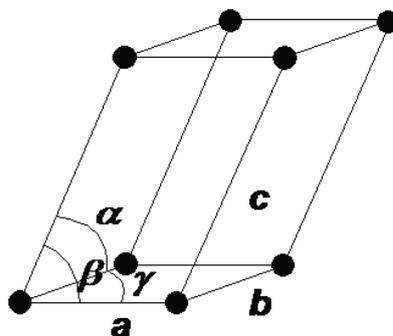
Sistem kristal *monoklin* terdiri atas 2 bentuk yaitu : *monoklin* sederhana dan berpusat muka pada dua sisi *monoklin* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau) seperti pada **Gambar 2.4**. Sistem kristal *monoklin* ini memiliki panjang rusuk yang berbeda-beda ($a \neq b \neq c$), serta sudut $\alpha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



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

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**.

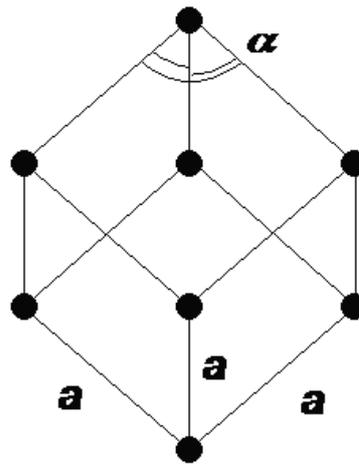


Gambar 2.5 Sistem Kristal *Triklin*
(Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

2.3.6 Sistem Kristal *Rombohedral* atau *Trigonal*

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

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

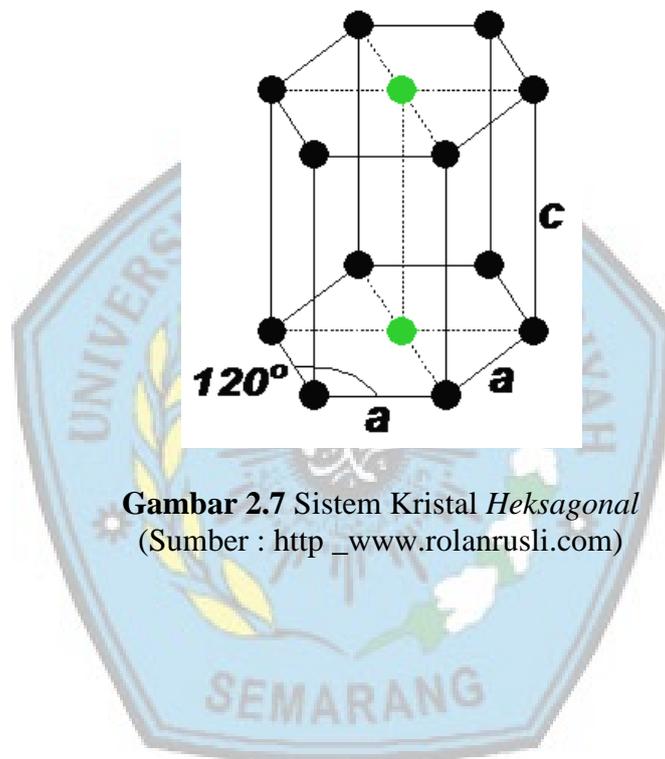


Gambar 2.6 Sistem Kristal *Rombohedral* atau *Trigonal*
(Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

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**.



Gambar 2.7 Sistem Kristal *Heksagonal*
(Sumber : [http _www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

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 Sulfat (CaSO_4)

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

Gipsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Gipsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat. Gipsum adalah salah satu dari beberapa mineral yang teruapkan. Contoh lain dari mineral-mineral tersebut adalah karbonat, borat, nitrat,

dan sulfat. Mineral - mineral ini diendapkan di laut, danau, gua dan di lapisan garam karena konsentrasi ion-ion oleh penguapan. Ketika air panas atau air memiliki kadar garam yang tinggi, gipsum berubah menjadi basanit ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) atau juga menjadi anhidrit (CaSO_4). Dalam keadaan seimbang, gipsum yang berada di atas suhu 108°F atau 42°C dalam air murni akan berubah menjadi anhidrit.

Gipsum termasuk mineral dengan sistem kristal monoklin $2/m$, namun kristal gipsnya masuk ke dalam sistem kristal orthorombik. Gipsum umumnya berwarna putih, kelabu, cokelat, kuning, dan transparan. Hal ini tergantung mineral pengotor yang berasosiasi dengan gipsum. Gipsum umumnya memiliki sifat lunak dan pejal dengan skala Mohs 1,5 – 2. Berat jenis gipsum antara 2,31 – 2,35, kelarutan dalam air 1,8 gr/liter pada 0°C yang meningkat menjadi 2,1 gr/liter pada 40°C , tapi menurun lagi ketika suhu semakin tinggi. Gipsum memiliki pecahan yang baik, antara 660 sampai dengan 1140 dan belahannya adalah jenis choncoidal. Gipsum memiliki kilap sutra hingga kilap lilin, tergantung dari jenisnya. Gores gipsum berwarna putih, memiliki derajat ketransparanan dari jenis transparan hingga translucent, serta memiliki sifat menolak magnet atau disebut diamagnetit.

2.5. Kerak Kalsium Sulfat

Dari segi morfologi kerak gipsum bisa dibedakan menjadi tiga fasa polymorphis yaitu Calcium Sulfat Dehidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang juga dikenal dengan nama gipsum, Calcium Sulfat Hemihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) dan Calcium Sulfat Anhidrat (CaSO_4 yang berbeda-beda pula. Bila konsentrasi ditingkatkan dengan cukup besar maka bentuk kristal jarum akan menjadi lebih lebar dan pipih sehingga tidak menyerupai jarum lagi (Mwaba dkk, 2006). Bila dilakukan penambahan aditif maka bentuk kristal akan menjadi plate atau sperical dimana dari bentuk ini bisa diartikan bahwa pertumbuhan kerak menjadi lambat). Dari ketiga fase yang disebutkan di atas kerak gipsumlah yang paling stabil. Kerak gipsum mempunyai bentuk menyerupai jarum (needle) dengan penampang berbentuk prisma atau segi lima (Mwaba dkk, 2006). Bentuk kristal akan menjadi berbeda-beda apabila pada larutan pembentuk kristal diberi perlakuan yang

berbeda-beda pula. Bila konsentrasi ditingkatkan dengan cukup besar maka bentuk kristal jarum akan menjadi lebih lebar dan pipih sehingga tidak menyerupai jarum lagi (Mwaba dkk, 2006). Bila dilakukan penambahan aditif maka bentuk kristal akan menjadi plate atau spherical dimana dari bentuk ini bisa diartikan bahwa pertumbuhan kerak menjadi lambat.

Pengkajian mengenai morfologi kerak adalah kajian meliputi ukuran, bentuk, kekerasan kristal, proses pengintian serta fenomena pertumbuhannya. Ralf Beck dkk (2009) yang telah melakukan pengukuran terhadap kristal kerak gipsum mendapatkan bahwa panjang rata-rata kristal kerak gipsum adalah 38,8 μm untuk kategori kristal halus sedang untuk kristal kasar mempunyai panjang rata-rata 57,1 μm sedangkan density yang dimiliki oleh kristal tersebut adalah sebesar 1,58 gr/mL.

2.6. Pengaruh Terbentuknya Kerak Kalsium Karbonat (CaSO_4)

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). 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 CaSO_4

Dengan terdapatnya sejumlah CaSO_4 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 percampuran 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/m³)

μ = viskositas dinamik fluida (kg/m.s) atau (N. det/ m²)

(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 CaSO₄

Kebalikan dengan karakteristik kebanyakan mineral, kalsium sulfat 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 sulfat 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 signifikan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan selama bulan November – Januari 2016 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 Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan **Gambar 3.2**.

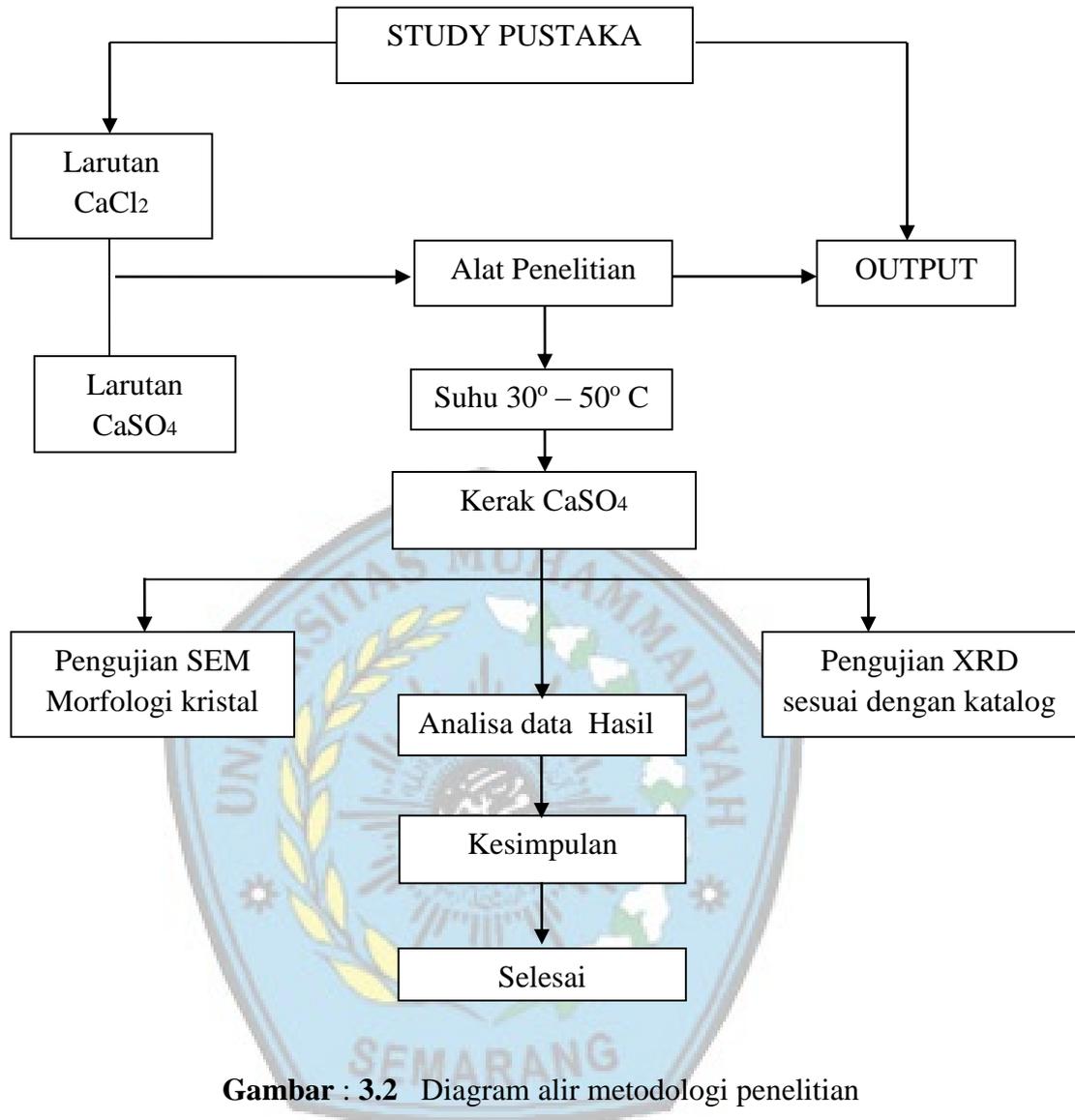


Gambar : 3.1 Lab. THERMOFLUID Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang



Gambar : 3.2 Lab. Proses Produksi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

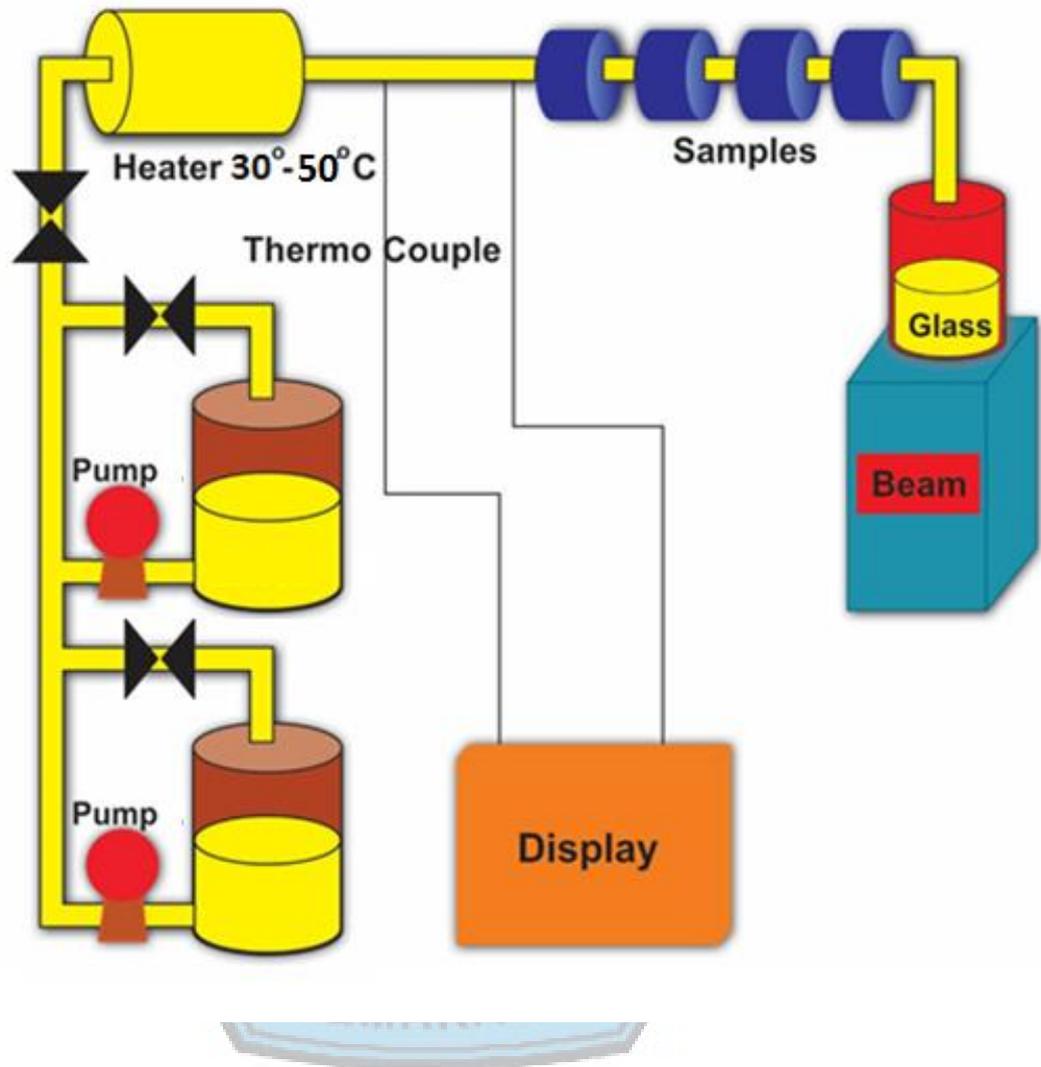
3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar : 3.2 Diagram alir metodologi penelitian

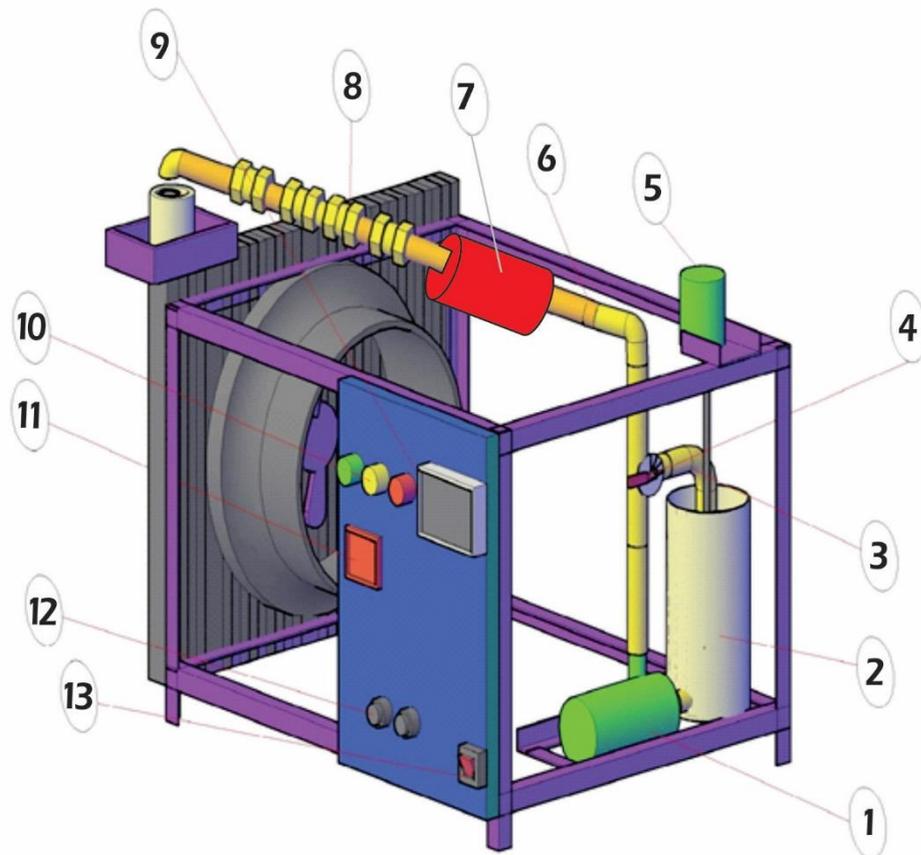
(Sumber : Digambar Sendiri)

3.4 Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*



Gambar : 3.4 Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

3.5 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 |
| 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**.

3.6 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 Mangnet Pump MD-30R-220N

B. Bak Penampung

Bak penampung digunakan untuk menampung cairan CaSO_4 yang akan dialirkan ke pompa dan selanjutnya akan dialirkan ke kupon-kupon pengujian. Bak penampung cairan CaSO_4 dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



Gambar : 3.7 Bak penampung

C. Bypass

Bypass digunakan untuk mengatur *output* aliran yang dibutuhkan cairan CaSO_4 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

Keran merupakan alat untuk menutup atau membuka aliran air. Keran 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. Keran berfungsi sebagai katup akhir dalam proses pendistribusian air. Dalam penelitian ini kran digunakan sebagai pengatur laju aliran cairan CaSO_4 yang akan dialirkan ke kupon-kupon pengujian, sesuai dengan laju aliran yang sudah ditentukan yaitu 30 ml/menit, seperti yang ditunjukan 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 aliran yang ada pada pipa-pipa pengujian. Alat *termocouple* dapat dilihat pada **Gambar 3.14**.

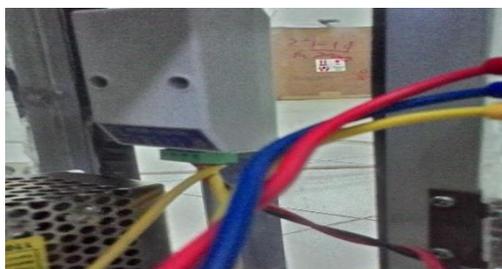


Gambar : 3.14 *Termocouple*

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* dalam satuan 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 CaSO_4 yang keluar dari rumah-rumah kupon pengujian dan setelah itu dilakukan pengukuran untuk konduktivitas cairan CaSO_4 . 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 pengubahan 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

3.7 Cairan yang digunakan :

- a. Aquades (H_2O)
- b. Larutan $CaSO_4$

3.7.1 Deskripsi Cairan yang digunakan :

- a. H_2O (aquades)

Aquades adalah hasil dari penyulingan sama dengan air murni atau H_2O karena H_2O 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 CaSO₄

Kalsium sulfat merupakan garam yang terjadi subur di lingkungan alam. Ini adalah senyawa kalsium, sulfur dan oksigen, dan dalam bentuk yang paling murni memiliki rumus kimia CaSO₄; ini dikenal sebagai anhidrat – bebas air – kalsium sulfat, atau anhidrit mineral. Hal ini juga datang dalam bentuk “hydrous”, yang dikenal sebagai mineral gipsum, yang memiliki rumus CaSO₄.2H₂O.

3.8 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 ditunjukan 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 memiliki 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*

3.9 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

3.9.1 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.

3.9.2 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 pengamplasan dan penimbangan dapat dilihat pada **Gambar 3.25** dan **Gambar 3.26**.



Gambar : 3.25, 3.26 Penimbang dan Pengamplasan Sampel Pengujian

3.10 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 30°C dan 50°C

3.11 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

3.12 Pengujian Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

3.12.1 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 CaSO_4

3.12.2 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 30ml/menit.

Conductivity meter digunakan untuk mengukur konduktivitas larutan. 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 memilkin ion-ion. **Gambar 3.28** adalah gambar pelaksanaan pengujian Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*.



Gambar : 3.28 Pelaksanaan Pengujian

3.12.3 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan kecepatan aliran 30 ml/menit. Percobaan untuk pembentukan kerak CaSO_4 dengan menggunakan konsentrasi larutan 3000 ppm. Untuk jam pertama pencatat waktu pada saat yang sama juga di aktifkan 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* dimasukan. *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 massa kupon sebelum kerak adalah massa kerak itu sendiri. Pelaksanaan pengambilan data dapat dilihat pada **Gambar 3.29**



Gambar : 3.29 Pelaksanaan pengambilan data

3.12.4 Prosedur pengujian

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

1. Menyiapkan peralatan yang dibutuhkan.
2. Mengisi bak pengampung dengan larutan CaSO_4
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 sempel pengujian.

3.13 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 bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM - XRD. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal kerak kalsium sulfat.

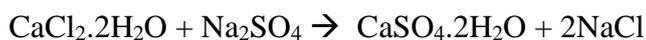
3.14 Pembuatan Larutan CaSO₄

Penelitian yang dilakukan untuk mengkaji pembentukan kerak pada pipa beraliran laminar dengan pembuatan larutan CaCl₂ dan CaSO₄. Untuk membuat

larutan CaCl₂ dan CaSO₄ dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 ml/menit. Untuk penelitian ini menggunakan larutan dengan konsentrasi 3000 ppm.

Perhitungan untuk membuat larutan CaSO₄ dengan 2 liter aquades yaitu :

Untuk membentuk Kalsium Sulfat



Hitungan buat larutan

3000 ppm Ca²⁺⁺ dibuat sebanyak 1 liter

BM Ca = 40

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

$$3000 \text{ ppm Ca}^{2+} = 3000 \text{ mg/L} \times 1 \text{ liter} = 3000 \text{ mg} = 3 \text{ g Ca}^{2+}$$

$$\text{Gram CaCl}_2 = \frac{\text{BM CaCl}_2}{\text{BM Ca}} \times 3 \text{ g Ca}^{2+} = \frac{111}{40} \times 3 \text{ g} = 8,325 \text{ gram}$$

$$\text{Mol CaCl}_2 = \frac{\text{gram CaCl}_2}{\text{BM CaCl}_2} = \frac{8,325}{111} = 0,075 \text{ mol}$$

$$\text{Ekivalen} \rightarrow 0,075 \text{ mol CaCl}_2 = 0,075 \text{ mol Na}_2\text{SO}_4$$

$$\text{BM Na}_2\text{SO}_4 = 142$$

$$\text{Gram Na}_2\text{SO}_4 = \text{mol Na}_2\text{SO}_4 \times \text{BM Na}_2\text{SO}_4$$

$$= 0,075 \times 142$$

$$= 10,65 \text{ gram}$$

Karena jumlah volume CaCl₂ dan Volume Na₂SO₄ adalah 2 liter, jadi jumlah kebutuhan yang harus ditimbang dikalikan 2 semua. Jadi jumlah bahan baku yang harus ditimbang adalah =

$$\text{CaCl}_2 = 8,325 \text{ gram} \times 2 = 16,65 \text{ gram}$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 10,65 \text{ gram} \times 2 = 21,3 \text{ gram}$$

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian karakterisasi pipa tembaga

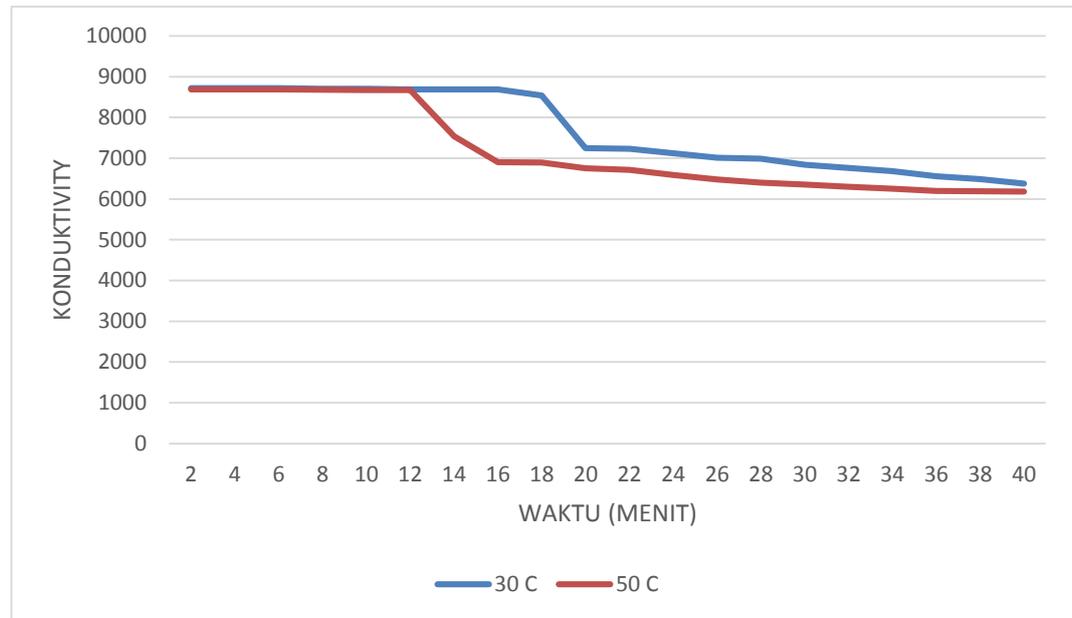
Unsur-unsur tembaga yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1.

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 CaSO₄ Dengan Suhu 30⁰c dan Suhu 50⁰c

Pada konsentrasi larutan CaSO₄ 3000 ppm dengan aliran fluida dan laju alir 30 ml/menit dimana Diperoleh hubungan antara konduktivitas dan waktu dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Hubungan Antar Waktu dan Konduktivitas Suhu 30⁰c dan Suhu 50⁰c

waktu	30 °c	50 °c
2	8720	8690
4	8720	8490
6	8720	8690
8	8700	8680
10	8700	8670
12	8690	8670
14	8690	7532
16	8690	6902
18	8536	6890
20	7245	6750
22	7231	6710
24	7121	6590

26	7011	6480
28	6990	6400
30	6840	6350
32	6760	6300
34	6680	6250
36	6560	6200
38	6490	6190
40	6380	6180

Pada konsentrasi larutan CaSO_4 3000 ppm dengan aliran fluida dan laju alir 30 ml/menit dengan suhu 30°C , dimana setiap 2 menit sekali dilakukan pengukuran terhadap konduktivitas larutan. sama dengan suhu 50°C pengukuran konduktivitas dilakukan 2 menit sekali

4.3 Waktu Induksi

Waktu induksi disini yaitu waktu yang dibutuhkan oleh senyawa kalsium sulfat 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 sulfat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk laju alir 30 ml/menit pada konsentrasi larutan CaSO_4 3000 ppm. Hal ini bisa dibaca melalui grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu yang dicantumkan pada Gambar 4.1, Pada grafik diatas terlihat bahwa waktu induksi untuk laju alir 30 ml/menit adalah sebesar 18 menit untuk suhu 30°C dan 14 menit untuk suhu 50°C .

4.4 Perhitungan Massa Kerak

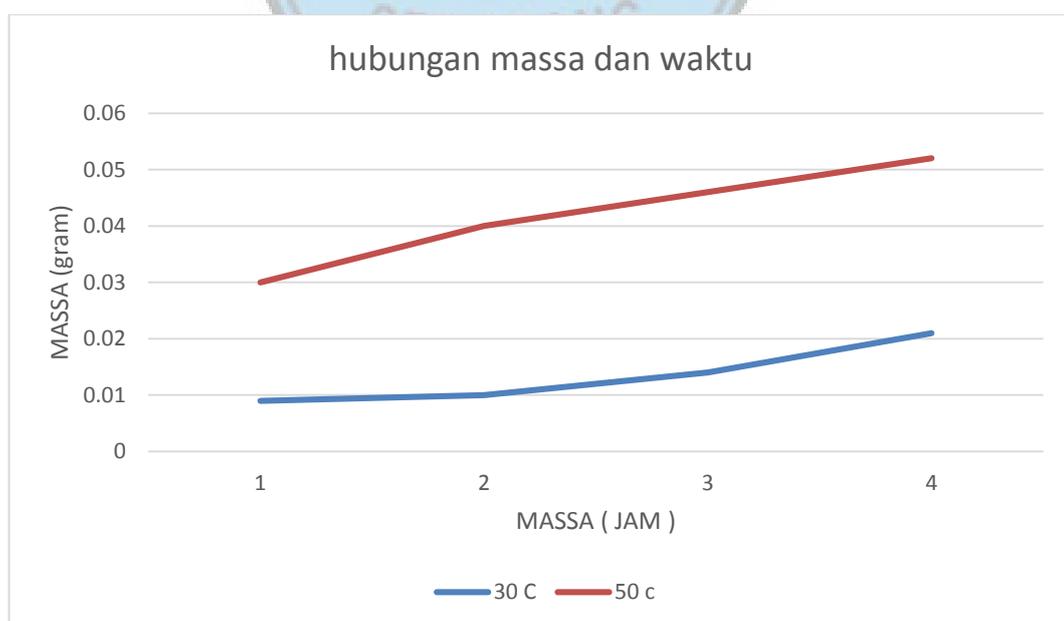
Perhitungan massa kerak dan laju pertumbuhan kerak rata-rata dilakukan dengan tujuan untuk memudahkan dalam analisa data. Massa kerak dihitung berdasarkan lamanya waktu dan suhu. selanjutnya ditabulasikan seperti terlihat pada **tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Perhitungan Massa Kerak untuk Laju Aliran 30 ml/menit dengan Konsentrasi Larutan 3000 ppm suhu 30⁰.

No	Waktu (menit)	Berat kerak (gram)
1	60	0,009
2	120	0,01
3	180	0,014
4	240	0,021

Tabel z4.3 Perhitungan Massa Kerak untuk Laju Aliran 30 ml/menit dengan Konsentrasi Larutan 3000 ppm suhu 50⁰.

No	Waktu (menit)	Berat kerak (gram)
1	60	0,03
2	120	0,04
3	180	0,046
4	240	0,052



4.5 Foto Hasil *Scaling* CaSO₄

Foto hasil pergerakan CaSO₄ dengan konsentrasi larutan 3000 ppm dan laju alir 30 ml/menit dengan suhu 30⁰c dan 50⁰c dapat di lihat pada **Gambar 4.2**, **Gambar 4.3**, **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**.

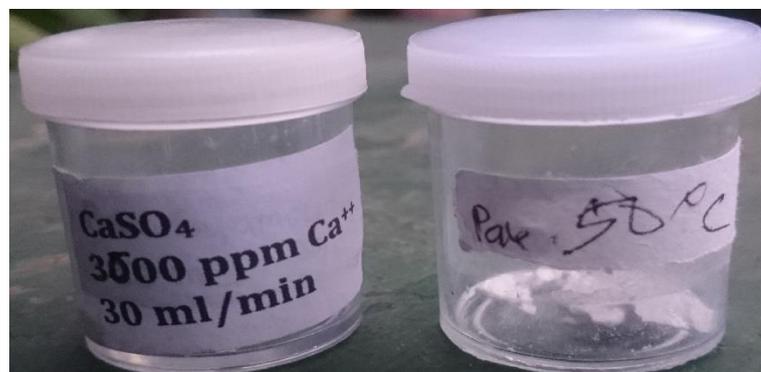


Gambar 4.2 sebelum *scaling*



Gambar 4.3 Hasil *scaling* 30⁰c

Gambar 4.4 Hasil *scaling* suhu 50⁰c



Gambar 4.5 Hasil *scaling* CaSO₄ suhu 30⁰ c dan suhu 50⁰ c

4.6 Pengujian SEM

Pengujian SEM bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM-EDS. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal dan pengujian XRD untuk membuktikan bahwa kerak dari hasil penelitian itu betul-betul kerak kalsium sulfat (CaSO_4). Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



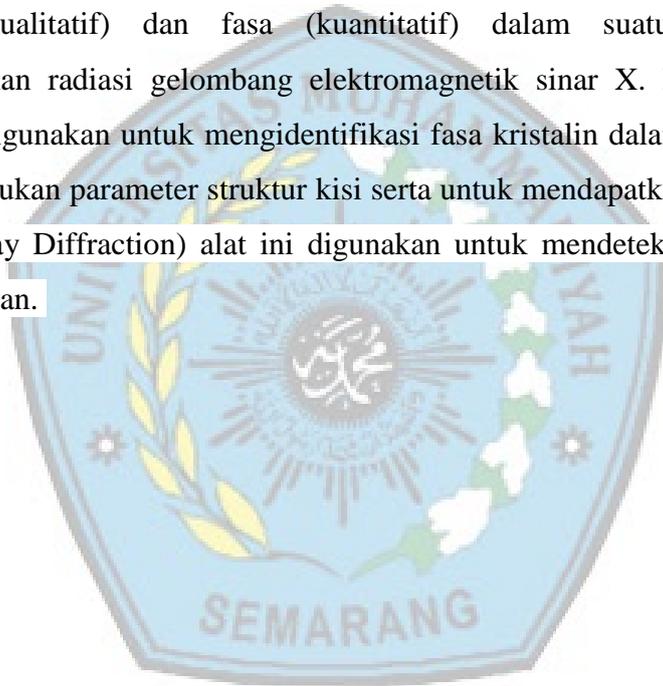
Gambar 4.6. Hasil pengujian SEM suhu 30° dan 50° c dengan perbesaran 2.500 kali.

Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.6 dengan perbesaran 2.500 kali bisa diketahui bahwa bentuk Kristal yang dihasilkan dari percobaan adalah needle (jarum) dimana merupakan ciri khas dari bentuk Kristal gipsu. Maka hal ini merupakan justifikasi bahwa Kristal tersebut adalah benar – benar Kristal gypsum. Mengacu pada kajian system Kristal terlihat bahwa kedua sisi pada penampang tidak sama ($a \neq b$) dan sisi panjang (c) juga tidak sama ($a \neq b \neq c$) sehingga bisa disimpulkan bahwa menurut kajian morfologi yang telah dibahas sebelumnya yaitu pada tinjauan pustaka, bahwa Kristal yang dihasilkan melalui percobaan mempunyai bentuk *orthorhombic*. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan CaSO_4 3000 ppm dengan aliran fluida dan laju alir 30 ml/menit suhu 30° c dan 50° c sama-sama menghasilkan

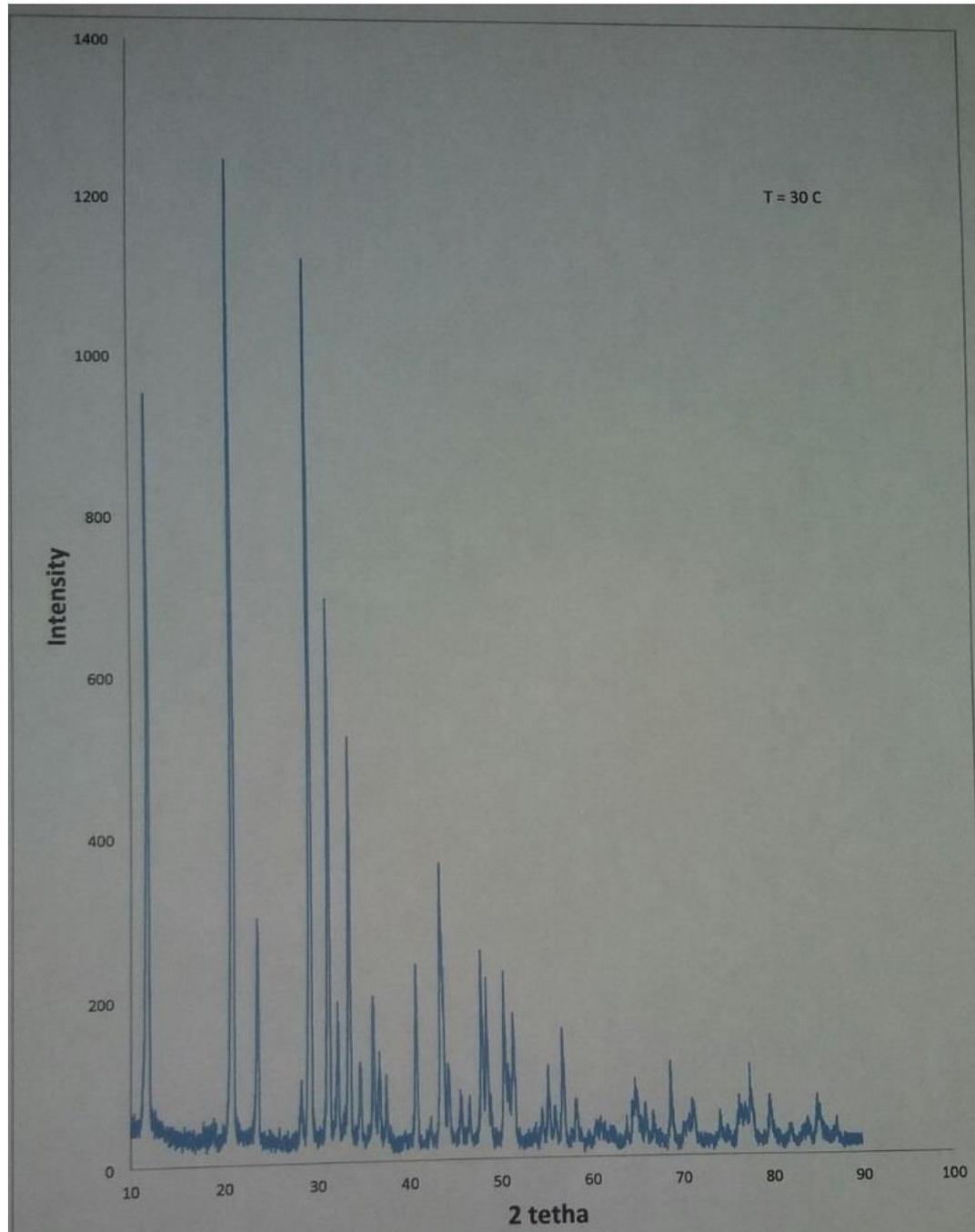
sistem kristalisasi *orthorhombic* .perbedaan jika Kristal dari hasil SEM dengan suhu 30 ° C fasanya termasuk di fasa amorphost seperti plate – plate belum membentuk puncak. Dan hasil SEM dari 50 ° C masuk di fasa kalsit dan morfologinya kecil – kecil dan lebih rapat.

4.7 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.



Berikut adalah hasil XRD dari hasil Kristal suhu 30 ° C



Gambar 4.8 : Grafik Hasil XRD

```

# Data Information
      Group           : KENSA
      Data            : syamsudi
      Sample Name     : standard
      Comment         : CaSo4 T=30C
      Date & Time     : 01-19-16 13:30:59

# Measurement Condition
      X-ray tube
      target          : Cu
      voltage         : 30.0 (kV)
      current         : 30.0 (mA)

      Slits
      Auto Slit      : not Used
      divergence slit : 1.00000 (deg)
      scatter slit   : 1.00000 (deg)
      receiving slit  : 0.15000 (mm)

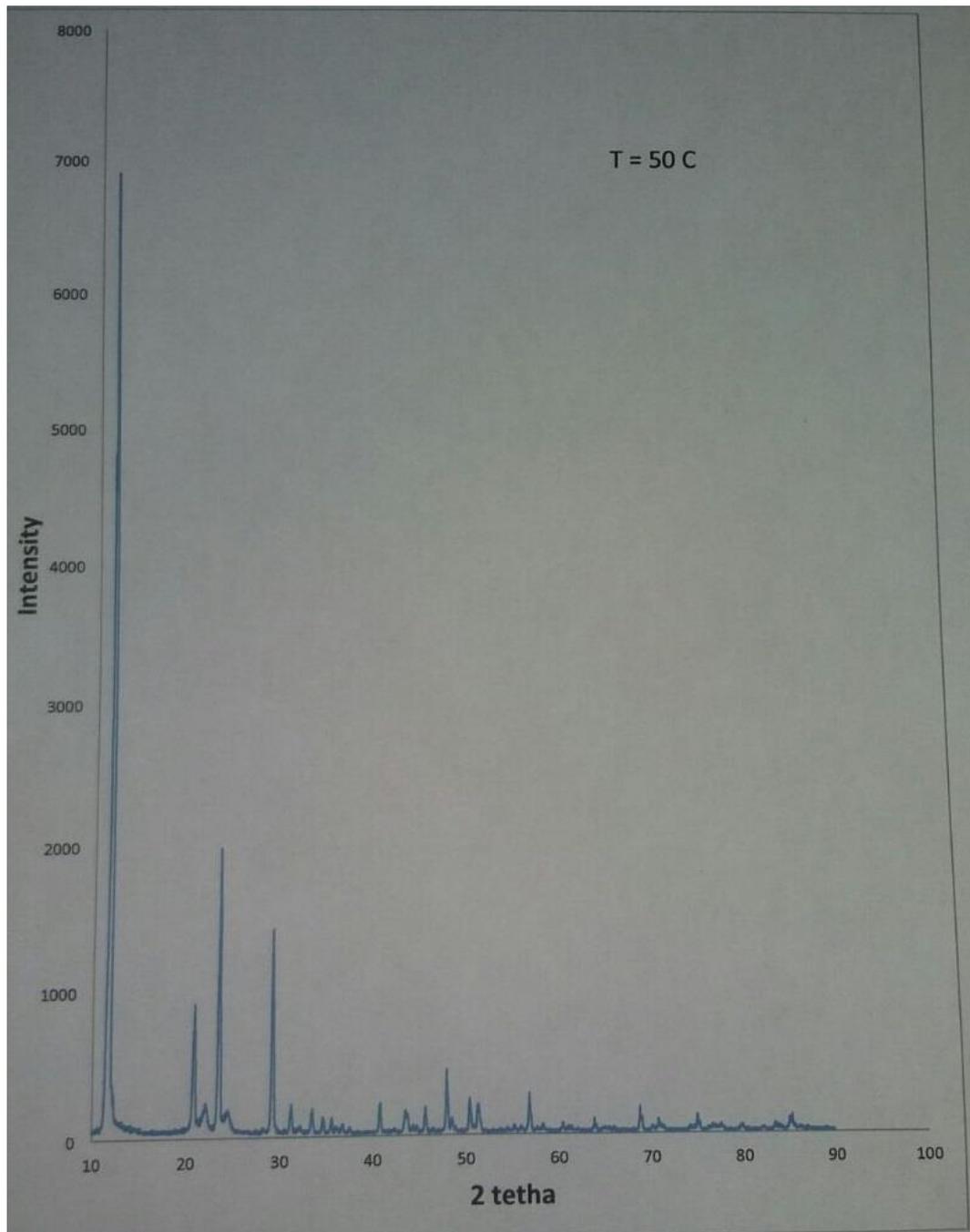
      Scanning
      drive axis     : Theta-2Theta
      scan range     : 10.0000 - 90.0000 (deg)
      scan mode      : Continuous Scan
      scan speed     : 2.0000 (deg/min)
      sampling pitch : 0.0200 (deg)
      preset time    : 0.60 (sec)

# Data Process Condition
      Smoothing      [ AUTO ]
      smoothing points : 0
      B.G.Subtraction [ AUTO ]
      sampling points : 0
      repeat times    : 0
      Kal-a2 Separate [ MANUAL ]
      Kal a2 ratio    : 50 (%)
      Peak Search     [ AUTO ]
      differential points : 0
      FWHM threshold  : 0.000 (deg)
      intensity threshold : 0 (par mil)
      FWHM ratio (n-1)/n : 0
      System error Correction [ YES ]
      Precise peak Correction [ NO ]

```

Dari hasil XRD menunjukkan untuk Kristal dari suhu 30 °C peak (puncaknya mempunyai intensitas dibawah 1000. Dan Kristal belum terbentuk seluruhnya cenderung masuk ke fasa amorphous.

Berikut adalah hasil XRD dari hasil Kristal suhu 50 ° C



```

*** Basic Data Process ***

# Data Infomation
  Group           : KENSA
  Data            : syamsudi_3
  Sample Nmae    : standard
  Comment        : CaSo4 T=50c
  Date & Time    : 01-20-16 07:54:09

# Measurement Condition
  X-ray tube
  target         : Cu
  voltage        : 30.0 (kV)
  current        : 30.0 (mA)

  Slits
  Auto Slit     : not Used
  divergence slit : 1.00000 (deg)
  scatter slit  : 1.00000 (deg)
  receiving slit : 0.15000 (mm)

  Scanning
  drive axis    : Theta-2Theta
  scan range    : 10.0000 - 90.0000 (deg)
  scan mode     : Continuous Scan
  scan speed    : 2.0000 (deg/min)
  sampling pitch : 0.0200 (deg)
  preset time   : 0.60 (sec)

# Data Process Condition
  Smoothing      [ AUTO ]
  smoothing points : 0
  B.G.Subtruction [ AUTO ]
  sampling points : 0
  repeat times   : 0
  Kal-a2 Separate [ MANUAL ]
  Kal a2 ratio   : 50 (%)
  Peak Search    [ AUTO ]
  differential points : 0
  FWHM threhold  : 0.000 (deg)
  intensity threhold : 0 (par mil)
  FWHM ratio (n-1)/n : 0
  System error Correction [ YES ]
  Precise peak Correction [ NO ]

```

Dari hasil pengujian XRD pada Kristal hasil suhu 50 ° C menunjukkan bahwa nilai intensitas diatas 8000, peak (puncak) nya tidak tinggi-tinggi dan fasanya sudah menjadi fasa kalsit. Dan morfologi nya kecil – kecil seperti jarum.

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 (CaSO_4) pada pipa yang beraliran fluida dengan konsentrasi larutan 3000 ppm dengan laju alir 30 ml/menit didapatkan waktu induksi sebesar 18 menit untuk suhu 30°C dan 14 menit untuk suhu 50°C .
2. Pada penelitian pembentukan kerak kalsium karbonat (CaSO_4) pada pipa yang beraliran laminer dengan konsentrasi larutan 3000 ppm dengan laju alir 30 ml/menit suhu 30°C didapatkan berat kerak total sebesar 0,021 gram, sedangkan 0,052 gram untuk suhu 50°C .
3. Dari hasil SEM CaSO_4 dengan konsentrasi larutan 3000 ppm dengan laju alir 30 ml/menit, diketahui dari bentuk kristal dan sistem kristalisasi yang dihasilkan adalah *orthorhombic* dimana *orthorhombic* merupakan ciri-ciri khas dari bentuk kristal CaSO_4 .

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 CaSO_4 .

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 CaSO_4 .



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., Yiantsios, 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.
- Zeiber, 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.

