

**PEMBENTUKAN KERAK CaCO_3 - CaSO_4 DENGAN
KONSENTRASI Ca^{2+} 2000 ppm PADA SUHU 30⁰C DAN 40⁰C
DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR**



TUGAS AKHIR

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

Disusun oleh :

BAYU VENDAMAWAN

C2A012013

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

**PEMBENTUKAN KERAK CaCO_3 - CaSO_4 DENGAN
KONSENTRASI Ca^{2+} 2000 ppm PADA SUHU 30°C DAN
40°C DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR**

Disusun oleh :

Bayu Vendamawan

C2A012013

Program Studi S1 Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

Menyetujui :

Tim Pembimbing

Tanggal 26 September 2016

Ka.Prodi PTSM UNIMUS

Rubijanto Juni P. ST., MT.

NIK. 28.6.1026.091

Pembimbing

Co. Pembimbing

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

NIK. 28.6.1026.028

Rubijanto Juni P. ST., MT.

NIK. 28.6.1026.091

**PEMBENTUKAN KERAK CaCO_3 - CaSO_4 DENGAN
KONSENTRASI Ca^{2+} 2000 ppm PADA SUHU 30°C DAN
 40°C DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR**

Oleh :
BayuVendamawan
C2A012013

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
e-mail : bayuvendamawan@yahoo.com

Abstrak

Pembentukan kerak terjadi karena adanya proses reaksi kimia antar kandungan yang tidak diinginkan pada zat yang terlarut di dalam air. Pembentukan kerak yang terjadi pada sistem perpipaan baik yang ada di industri maupun di rumah tangga masih banyak menyebabkan permasalahan, baik masalah teknis maupun ekonomis. Hal ini disebabkan karena adanya endapan kerak yang menghambat aliran fluida yang mengalir di dalam pipa dan juga menghambat proses perpindahan panas pada alat penukar panas. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengembangkan alat *Closed Circuit Scale Simulator* serta membuktikan pengendapan CaCO_3 dan CaSO_4 di dalam pipa dengan konsentrasi Ca^{2+} 2000 ppm menggunakan variasi suhu 30°C dan 40°C , dan untuk mengetahui karakteristik morfologi kerak CaCO_3 dan CaSO_4 . Dari hasil penelitian ini mendapatkan waktu induksi untuk suhu 30°C adalah 48 menit dengan nilai konduktivitas $8602 \mu\text{S/cm}$ sedangkan pada suhu 40°C memiliki waktu induksi 38 menit dengan nilai konduktivitas sebesar $8633 \mu\text{S/cm}$. Dari hasil pengujian SEM menunjukkan bentuk morfologi kerak CaCO_3 adalah kalsit dan CaSO_4 adalah gypsum.

Kata Kunci : Kerak CaCO_3 dan CaSO_4 , Suhu, Waktu Induksi, morfologi kerak.

**CaCO₃ - CaSO₄ SCALING FORMATION WITH
CONCENTRATION SCALE Ca²⁺ 2000 ppm AT THE
TEMPERATURE OF 30⁰C AND 40⁰C IN LAMINAR FLOW
PIPES**

**by:
BayuVendamawan
C2A012013**

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

Abstract

The formation of scale occurred due to the process of chemical reaction between the unwanted content on the substance dissolved in water. The formation of scale occurred on the piping system both in the industry and in household still many cause problems, good technical issues and economically. This is due to the scale deposits that inhibit the flow of fluid that flows in the tube and also inhibit the process of heat transfer in the heat exchanger. The purpose of this research is to develop tools Closed Circuit Scale Simulator installation design and prove of scaling CaCO₃ and CaSO₄ in the tube with the concentration of Ca²⁺ 2000 ppm using the temperature variations 30⁰C and 40⁰C, and to know the characteristics of the scale morphology CaCO₃ and CaSO₄. From the results of this research get induction time for the temperature of 30⁰C is 48 minutes with conductivity value 8602 μS/cm while at a temperature 40⁰C have induction time 38 minutes with the value of conductivity 8633 μS/cm. From the results of the test of SEM shows the form of morphology scale CaCO₃ is calcite and CaSO₄ is gypsum.

Keyword : CaCO₃CaSO₄, Temperature, Time induction, Scale morphology.

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGITISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : BayuVendamawan

NIM : C2A012013

Judul Tugas Akhir : PEMBENTUKAN KERAK CaCO_3 - CaSO_4 DENGAN KONSENTRASI Ca^{2+} 2000 ppm PADA SUHU 30°C DAN 40°C DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR

Menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul tersebut belum pernah dipublikasikan di lingkungan 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 tatacara penulisan karya ilmiah dengan menyertakan pembuat/penulis dan telah dicantumkan didalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan apa bila dikemudian hariternyata terbukti bahwa pernyataan saya tidak benar, saya bersedia menerima segalakan sekuensinya.

Semarang, 26 September 2016

Yang menyatakan,

BayuVendamawan

SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : BayuVendamawan
NIM : C2A012013
Fakultas / Jurusan : Teknik / TeknikMesin
JenisPenelitian : TA / TugasAkhir
Judul : PEMBENTUKAN KERAK $\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_4$
DENGAN KONSENTRASI Ca^{2+} 2000 ppm PADA SUHU 30°C DAN 40°C
DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR

Dengan ini menyatakan bahwa saya menyetujui untuk :

1. Memberikan hak bebas royalti kepada Perpustakaan Unimusatas 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 perlumeminta 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, 26 September 2016

Yang Menyatakan,

Bayu Vendamawan

MOTTO

*Kesuksesan hanya dapat diraih dengan segala upaya dan usaha
yang disertai dengan doa*



PERSEMBAHAN

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

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

1. Bapak dan Ibuku tercinta yang dengan segalajerih payahnya selalu membiayai dan mendorong studyku sampai penyusunan tugas akhir ini.
2. Keluarga besar BASECAMP yang setia menemani dan memberiku semangat sehingga terselesaikannya tugas akhir ini.
3. Teman kuliah seangkatan 2012 yang telah mendukungku.
4. Semua teman-teman Teknik Mesin yang telah memberikan banyak kenangan.
5. Semua Dosen FT yang telah menuntunku dalam revisi.
6. Semua karyawan Universitas Muhammadiyah Semarang di kampus kasipah serta satpam di kampus kasipah.



KATA PENGANTAR

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

Segala Puji bagi Allah SWT yang telah memberikan segala Rahmat dan karunia-Nya pada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pembentukan kerak CaCO_3 dan CaSO_4 dengan konsentrasi Ca^{2+} 2000 ppm pada suhu 30°C dan 40°C dalam pipa beraliran Laminar”. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat di hari akhir nanti. Tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan dengan baik, tanpa adanya bimbingan dan bantuan dari beberapa pihak terkait. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih penghargaan yang tinggi kepada :

1. Prof. Dr.H. Masrukhi, M.Pd, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Semarang.
2. Drs. H. Samsudi Raharjo, ST, MM, MT, selaku Wakil Rektor III Universitas Muhammadiyah Semarang dan dosen pembimbing I yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
3. Dr. RM. Bagus Irawan, ST, M.Si, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.
4. Rubijanto Juni P, ST, MT, selaku Kaprodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang dan 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 2012 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, 26 September 2016

Penulis,

Bayu Vendamawan

DAFTAR ISI

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

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kerak.....	5
2.2 Kristalisasi	6
2.3 Faktor-faktor Pembentukan Kerak.....	7
2.4 Mekanisme Pembentukan Kerak.....	7
2.5 Jenis-jenis Kerak	9
2.6 Kristalisasi.....	12
2.7 Kerak Kalsium Sulfate dan Kalsium Karbonat.....	14
2.8 Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Kerak	14
2.9 Waktu Induksi	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat Penelitian.....	17

3.1.1	Bagian-bagian Alat Uji	18
3.1.2	Alat Ukur Yang Digunakan	22
3.2	Bahan Penelitian	24
3.3	Diagram Alir Penelitian	24
3.4	Langkah Penelitian.....	25
3.4.1	Alat Eksperimen Pembentukan Kerak.....	26
3.4.2	Skema Alat <i>Prototype Closed Circuit Scale Simulator</i> .	27
3.4.3	Pengujian Alat.....	27
3.4.4	Pembuatan Larutan CaCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3	27
3.4.5	Persiapan Pipa Uji.....	29
3.5	Pengambilan Data	30
3.6	Pengujian SEM	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengaruh Suhu Terhadap Massa Kerak CaSO_4 dan CaCO_3	33
4.2	Analisa Waktu Induksi	34
4.3	Pengujian SEM	35
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

2.1	Jenis Komponen Endapan Kerak.....	10
2.2	Klasifikasi Pengendapan Kerak.....	11
2.3	Endapan Kerak yang Umum Terdapat di Dalam Ladang Minyak	12
2.4	Tabel Sistem Kristalisasi	13



DAFTAR GAMBAR

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

2.1	Endapan Kerak Dalam Pipa	6
2.2	Tahap Kristalisasi	6
2.3	Waktu Induksi Tanpa Aditif dan Penambahan Beberapa Aditif Terhadap Pembentukan Kerak	16
3.1	Desain <i>Prototype Closed Circuit Scale Simulator</i>	17
3.2	Saklar Pompa.....	18
3.3	Pompa Fluida.....	18
3.4	Reservoir atau Bak Penampung	19
3.5	Saluran Bypass.....	20
3.6	Rumah Sampel	20
3.7	Monitor Grafik Panel	21
3.8	Lampu Indikator	22
3.9	Stopwatch.....	22
3.10	Gelas Ukur.....	23
3.11	Conductivity Meter	23
3.12	Timbangan.....	24
3.13	Diagram Alir Penelitian	25
3.14	Skema Alat <i>Closed Circuite Scale Simulator</i>	27
3.15	Kupon / Sampel.....	30
4.1	Grafik Hubungan Suhu Terhadap Massa Kerak.....	33
4.2	Grafik Hubungan Konduktivitas dengan Waktu.....	34
4.3	Morfologi Kerak Hasil Percobaan Suhu 30 ⁰ C	35
4.4	Morfologi Kerak Hasil Percobaan Suhu 40 ⁰ C	36

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SEM = *Scaning Elektronik Mikroskop*

α = Alfa

β = Beta

γ = Gama

μs = Microsimen

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

D = diameter dalam pipa (m)

ρ = masa jenis fluida (kg/m^3)

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



BAB I

PENDAHULUAN

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

1.1 Latar Belakang

Setiap industri yang menggunakan air dalam sistem kerjanya bisa dipastikan selalu mempunyai permasalahan dengan *scaling*. Pengerakan terjadi pada komponen industri yang sangat kompleks, misalnya pada industri listrik tenaga uap, pengerakan terjadi hampir seluruh pada komponen yang ada pada industri tersebut (Jamaialahmadi, 2007).

Kerak adalah tumpukan keras dari bahan anorganik terutama pada permukaan perpindahan panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti alkalin, kalsium, klorida, sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. 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).

Proses pengendapan senyawa-senyawa anorganik bisa terjadi pada peralatan-peralatan industri yang melibatkan air garam seperti industri minyak dan gas, proses deselerasi dan ketel serta industri kimia. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur anorganik pembentukan kerak seperti logam kalsium (Ca^{2+}) dalam jumlah yang melebihi kelarutan pada keadaan kesetimbangan. Terakumulasinya endapan-endapan dari senyawa anorganik tersebut dapat menimbulkan masalah seperti kerak (Amjad, 1998).

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. 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 (Alimi *et al.*, 2007).

Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor tersebut diantaranya kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, temperatur, dan kehadiran pengotoran juga aditif (Muryanto dkk, 2012).

Peningkatan temperatur akan memperpendek periode induksi karena meningkatkan frekuensi pertumbuhan molekul dalam larutan. Tingkat pertumbuhan kristal ditentukan oleh pengaruh temperatur dalam sistem aliran. Semakin tinggi temperatur maka kecepatan pertumbuhan kristal kerak akan semakin meningkat sehingga jumlah kerak yang terbentuk akan semakin besar. Asnawati (2001) menyatakan bahwa dengan meningkatnya temperature mempengaruhi kecepatan pertumbuhan kerak. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu maka semakin besar tumbukan antar ion yang berdampak semakin cepat reaksi pembentukan kerak. Oleh karena itu, pada penelitian ini mengkaji tentang pengaruh temperature terhadap pertumbuhan kerak sehingga diharapkan dapat mengetahui laju pertumbuhan kerak yang terbentuk di dalam pipa-pipa industri.

1.2 Perumusan Masalah

Pengerakan kalsium sulfat (CaSO_4) dan kalsium karbonat (CaCO_3) sangat merugikan dalam proses produksi sehingga, harus dilakukan usaha untuk menghambat pembentukannya dengan cara mengatur parameter proses yang mempengaruhi pertumbuhannya, diantaranya adalah temperatur. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana proses pembentukan kerak kalsium sulfat dan kalsium karbonat dalam pipa dengan memvariasikan Suhu (30°C dan 40°C) pada konsentrasi Ca^{2+} 2000 ppm. Pada proses penelitian ini menggunakan alat *closed circuit scale simulator*, agar dapat memahami mekanisme pembentukan kerak CaCO_3 dan CaSO_4 dalam pipa dengan aliran laminar.

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuktikan pengerakan kalsium karbonat dan kalsium sulfat di dalam pipa.
2. Mengetahui pengaruh suhu 30°C dan 40°C pada konsentrasi Ca^{2+} 2000 ppm terhadap pembentukan kerak.
3. Mengkarakterisasi kerak kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium sulfat (CaSO_4) hasil percobaan.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan kerak yang dikaji yaitu kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat. Pemilihan ini didasari pertimbangan bahwa kerak kalsium sulfat dan kalsium karbonat adalah jenis kerak yang paling banyak dijumpai dalam lingkungan industri (Rabizadeh, 2014). Pengerakan kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium sulfat (CaSO_4) sangat merugikan dalam proses produksi, sehingga harus dilakukan usaha untuk menghambat pembentukannya dengan cara mengatur parameter proses yang mempengaruhi pertumbuhannya, diantaranya adalah temperatur. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana proses pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium sulfat (CaSO_4) dalam pipa beraliran laminar pada variasi suhu (30°C dan 40°C) pada konsentrasi Ca^{2+} 2000 ppm.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian yang hasilnya berupa data empirik tentang fenomena pembentukan kerak kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium sulfat (CaSO_4). Maka dari itu diharapkan dapat memberikan manfaat, pada umumnya bagi penelitian dan pengembangan ilmu tentang kerak pada aspek proses pembentukan dan pencegahannya, baik kerak di lingkungan sehari-hari, maupun kerak yang muncul dalam industri, khususnya bagi para operator industri yang terkait dengan bidang kerak (seperti *boiler*, *cooling tower*, dan *heat exchanger*) dapat memberikan tambahan sumber informasi dalam menjalankan tugasnya. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan suatu data atau informasi bagaimana cara pengaturan parameter yang berpengaruh terhadap pertumbuhan kerak sehingga sistem kerja akan

mempunyai efisiensi yang tinggi. Pada proses aliran dapat berjalan tanpa adanya gangguan dari kerak yang mengendap, pada proses *heat transfer* tidak terhambat oleh endapan kerak yang menempel pada dinding bejana.



BAB II

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

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerak

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

Pengerakan dipengaruhi oleh kondisi fisik seperti temperature, kecepatan aliran, model aliran serta dipengaruhi pula oleh kondisi kimia seperti tingkat kesadahan air yang mengalir dalam pipa, intensitas impuritas yang berada dalam air. Bisa dikatakan disini bahwa kondisi air yang dialirkan itulah yang pada akhirnya menimbulkan permasalahan kerak itu sendiri (Al Barrak dan Rowell, 2006).

Pembentukan kerak pada sistem perpipaan baik yang ada di industri maupun di rumah tangga masih banyak mengakibatkan permasalahan, baik masalah teknis maupun ekonomis. Hal ini disebabkan karena adanya endapan kerak yang menghambat aliran fluida yang mengalir di dalam pipa dan juga menghambat proses perpindahan panas pada alat penukar panas (*head exchangers*). Sehingga kerak yang terbentuk di dalam pipa akan memperkecil diameter pipa dan menghambat aliran fluida pada sistem perpipaan.

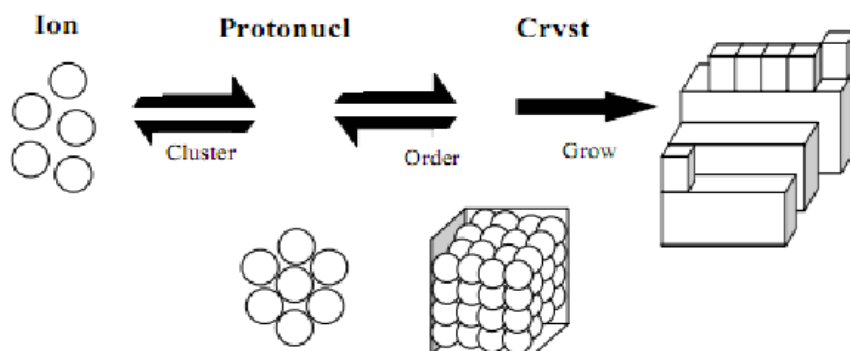
Adanya endapan kerak pada komponen-komponen tersebut, dapat mengakibatkan aliran fluida terhambat baik dalam pipa maupun alat *heat exchangers*. Pada *heat exchangers*, endapan-endapan kerak tersebut akan mengganggu transfer panas sehingga menyebabkan panas akan semakin meningkat. Sedangkan pada pipa-pipa,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



Gamabar 2.1.Endapan Kerak dalam Pipa (Raharjo S, 2016)

2.2 Kristalisasi

Kristalisasi adalah suatu proses pembentukan kristal dari larutannya dan kristal yang dihasilkan dapat dipisahkan secara mekanik. Pertumbuhan kristal dapat terjadi bila konsentrasi suatu zat terlarut dalam larutannya melewati kadar kelarutan lewat jenuhnya pada suhu tertentu. Kondisi kelarutan lewat jenuh dapat diperoleh dengan jalan pendinginan larutan pekat panas, penguapan larutan encer, kombinasi proses penguapan dan pendinginan, dan dengan penambahan zat lain untuk menurunkan kelarutannya. Kristalisasi memiliki dua tahap proses, yaitu tahap pembentukan inti yang merupakan tahap mulai terbentuknya zat padat baru, dan tahap pertumbuhan kristal yang merupakan tahap inti zat padat yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan menjadi kristal yang lebih besar (Foust, 1980). Untuk proses pembentukan kristal dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tahap Kristalisasi (Zeiher *et al*, 2003)

2.3 Faktor-faktor Pembentukan Kerak

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

Faktor yang mendukung pembentukan dan pengendapan kerak antara lain adalah sebagai berikut :

- Air mengandung ion-ion yang memiliki kecenderungan untuk membentuk senyawa-senyawa yang mempunyai angka kelarutan rendah.
- Adanya perubahan kondisi fisik atau komposisi air yang akan menurunkan kelarutan lebih rendah dari konsentrasi yang ada.
- Kenaikan temperatur akan menyebabkan terjadinya proses penguapan, sehingga akan terjadi perubahan kelarutan.
- Air formasi yang mempunyai derajat keasaman (pH) besar akan mempercepat terbentuknya endapan kerak.
- Pengendapan kerak akan meningkat dengan lamanya waktu kontak dan ini akan mengarah pada pembentukan kerak yang lebih padat dan keras.

2.4 Mekanisme Pembentukan Kerak

Mekanisme pembentukan kerak dapat dikelompokkan menjadi lima langkah sebagai berikut :

1. Inisiasi Pengerakan

Selama periode penundaan awal ini, permukaan sedang dikondisikan untuk fouling yang akan berlangsung nanti. Langkah ini yang biasanya diamati pada kristalisasi fouling berlangsung dengan urutan jam. Ritter, mengamati waktu induksi 20 jam saat mempelajari pengendapan kalsium dan lithium sulfat dalam kristalisasi pengerakan. Setelah periode

ini telah diamati, ketahanan fouling mulai meningkat dengan waktu dalam beberapa mode.

2. Transport ke Permukaan

Hasil transport bentuk berbagai proses termasuk : (i) difusi, (ii) sedimentasi, (iii) turbulen downsweep dan (iv) thermoporesis. Difusi memainkan peran penting dalam pergerakan terutama, dalam transport baik gas dan partikulat spesies. Sedimentasi memiliki arti penting dalam pergerakan dimana partikel padat dan kecepatan fluida rendah. Clever et al., menemukan bahwa pusaran dalam aliran fluida yang mampu menembus sublayer laminar dan mengangkut bahan padat ke permukaan. Mereka juga mengamati bahwa, semburan turbulen adalah mekanisme removal yang efisien. Mekanisme thermophoresis penting untuk ukuran partikel di bawah 5 mikron dan menjadi dominan di sekitar 0,1 mikron (Herisadeh, 2008).

3. Attachment ke Permukaan

Tidak semua bahan diangkut ke permukaan benar-benar menempel. Gaya yang bekerja pada materi ketika mereka mendekati permukaan memainkan peran penting. Sifat-sifat partikel (kepadatan, elastisitas, permukaan dan kondisi) dan sifat permukaan (kekasaran dan jenis material) permukaan juga dapat memainkan peran penting dalam mekanisme Removal (Han *et al.*, 2005).

4. Removal dari Permukaan

Removal materi dapat dihilangkan dari deposit oleh beberapa mekanisme, termasuk spalling (yang disebabkan oleh gaya geser dan semburan turbulant), resolusi contoh dan erosi. Kecepatan cairan dan kekasaran permukaan juga dapat memainkan peran penting dalam mekanisme Removal. Resolusi material deposit dapat terjadi jika pH dari aliran cair diubah oleh aditif atau beberapa cara lain. Erosi oleh partikel

atau cairan dapat menghilangkan materi dari lapisan fouling (Han *et al.*, 2005).

5. Aging Deposit

Ketebalan deposit tumbuh dengan waktu hingga mencapai nilai stabil dan kekuatan mekanik deposit dapat berubah dengan waktu karena perubahan dalam struktur kristal atau komposisi kimia dari deposit. Penuaan/aging dapat memperkuat atau memperlemah kerak deposit (Han *et al.*, 2005).

2.5 Jenis-jenis Kerak

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

Kerak dapat dikenali dengan mengklasifikasikannya berdasarkan komposisi yang membentuk kerak dan jenis pengendapannya. Berdasarkan komposisinya, cara umum kerak dibedakan menjadi kerak Sulfat, kerak sulfat, serta campuran dari keduanya. Sedangkan berdasarkan jenis pengendapannya, klasifikasi kerak dapat dilihat pada **Tabel 2.2** (Siswoyo dan Erna, 2005)

Tabel 2.1. Jenis Komponen Endapan Kerak.

Chemical name	Chemical formula	Mineral name
Water soluble scale		
Sodium chloride	NaCl	Halite
Acid soluble scale		
Calcium carbonate	CaCO ₃	Calcite
Iron carbonate	FeCO ₃	Siderite
Iron sulfide	FeS ₂	Troilite
Iron oxide	Fe ₂ O ₃	Hematite
Iron oxide	Fe ₃ O ₄	Magnetite
Magnesium hydroxide	Mg(OH) ₂	Brucite
Acid insoluble scale		
Calcium sulfate	CaSO ₄	Anhydrite
Calcium sulfate	CaSO ₄ ·2H ₂ O	Gypsum

Tabel 2.2. Klafikasi Pendedapan Kerak

Jenis D	Sifat Utama	Komponen	Reaksi kimia
Hard scale	Umunya berwarna terang, dan apabila terdapat pengotor (minyak atau oksida besi) akan menjadi agak gelap. Hampir tidak larut dalam asam	BaSO ₄ , SrSO ₄ , CaSO ₄ , dan 2H ₂ O	$\text{BaCl}_2 + \text{NaSO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{SrCl}_2 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{SrSO}_4 \downarrow + \text{CaCl}_2$
Soft scale	Umunya terang atau agak gelap (jika mengandung pengotor) larutan dalam asam mengandung CO ₂	CaCO ₃ dengan kandungan MgCO ₃ FeCO ₃ SiO ₂ CaSO ₄ 2H ₂ O FeS dan S	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Misc	Tidak mudah larut dalam asam mengandung H ₂ S berwarna coklat tua sampai hitam	FeS, Fe ₂ O ₃ , H ₂ O, S	$\text{Fe} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} \downarrow + \text{H}^+$ $\text{HFe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{FeS} \downarrow + \text{H}_2\text{O}$

Dari sekian banyak jenis kerak yang dapat terbentuk, hanya sebagian kecil yang seringkali dijumpai pada industri perminyakan. **Tabel 2.3** menunjukkan jenis-jenis kerak yang umum terdapat di lapangan.

Tabel 2.3 Endapan Kerak Yang Umum Terdapat di Ladang Minyak

Jenis kerak	Rumus kimia	Faktor yang berpengaruh
Kalsium karbonat (kalsit)	CaCO_3	• Penurunan tekanan (Ca^{2+}) • Perubahan temperatur • Kandungan garam terlarut • Perubahan keasamaan (pH)
Kalsium sulfat Gypsum (sering hemi-Hydrate anhydrite)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ CaSO_4	• Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Barium sulfat Strontium sulfat	BaSO_4 SrSO_4	• Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Komponen besi Besi Sulfat Sulfide besi Ferrous hydroxide Rerric hydroxide	FeCO_3 FeS $\text{Fe}(\text{OH})_2$ $\text{Fe}(\text{OH})_2$ Fe_2O_3	• Korosi • Kandungan gas terlarut • Derajat keasamaan (pH)

2.6 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. 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

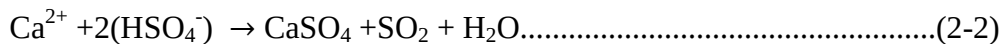
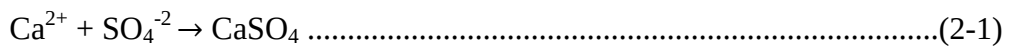
yang memadai. Pada saat terjadi penguapan, kondisi jenuh (*saturation*) dan kondisi lewat jenuh (*supersaturation*) dicapai secara simultan melalui pemekatan larutan dan penurunan daya larut seimbang saat kenaikan suhu menjadi suhu penguapan (Martpz *et al.*, 2010).

Tabel 2.4 Tabel Sistem Kristalisasi

No.	Sistem Kristal	Kisi Bravais	Panjang rusuk	Besar sudut-sudut
1.	Kubus	- Sederhana - Berpusat badan - Berpusat muka	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
2.	<i>Tetragonal</i>	- Sederhana - Berpusat Badan	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
3.	<i>Ortorombik</i>	- Sederhana - Berpusat badan - Berpusat muka - Berpusat muka A, B, atau C	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
No.	Sistem Kristal	Kisi Bravais	Panjang rusuk	Besar sudut-sudut
4.	<i>Monoklin</i>	- Sederhana - Berpusat muka C	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$
5.	<i>Triklin</i>	Sederhana	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
6.	<i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	Sederhana	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
7.	<i>Heksagonal</i>	Sederhana	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
Total	7 Sistem Kristal	14 Kisi Bravais		

2.7 Kerak Kalsium Sulfat dan Kalsium Karbonat

Kerak kalsium sulfat merupakan endapan senyawa CaSO_4 yang terbentuk dari hasil reaksi antara ion kalsium (Ca^{2+}) dengan ion Sulfat (SO_4^{2-}) ataupun dengan ion biSulfat (HSO_4^-), dengan reaksi pembentukan sebagai berikut :



Kerak kalsium sulfat merupakan endapan senyawa CaCO_3 (kalsit), dengan reaksi pembentukan sebagai berikut :



Faktor ataupun kondisi yang mempengaruhi pembentukan kerak antara lain adalah perubahan kondisi reservoir (tekanan dan temperatur), alkalinitas air, serta kandungan garam terlarut, dimana kecenderungan terbentuknya kerak kalsium sulfat akan meningkat dengan:

- meningkatnya temperatur
- penurunan tekanan parsial CO_2 dan SO_2
- peningkatan pH
- laju alir
- penurunan kandungan gas terlarut secara keseluruhan

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

2.8 Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Kerak

Kelarutan kalsium Sulfat akan semakin berkurang dengan bertambahnya temperatur, sehingga semakin besar temperatur air maka tingkat kecenderungan terbentuknya kerak akan semakin besar. Pengaruh tersebut dapat terjadi karena kenaikan temperatur air akan menyebabkan adanya penguapan sehingga jumlah dalam air akan berkurang, sehingga

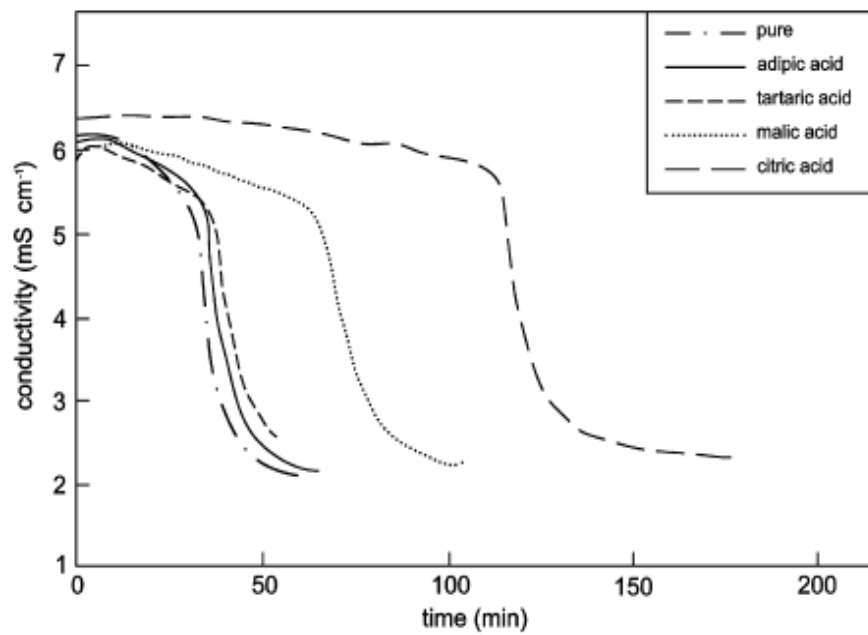
berdasarkan reaksi pada (2-5) maka reaksi akan bergeser ke arah kanan dan *scale* kalsium sulfat akan terbentuk (Siswoyo dan Erna,2005). Fenomena ini dapat digunakan untuk menjelaskan terbentuknya kerak pada formasi sumur-sumur injeksi yang mempunyai tekanan dasar sumur yang cukup tinggi, serta kerak yang terjadi pada dinding tabung alat pemanas.

2.9 Waktu Induksi

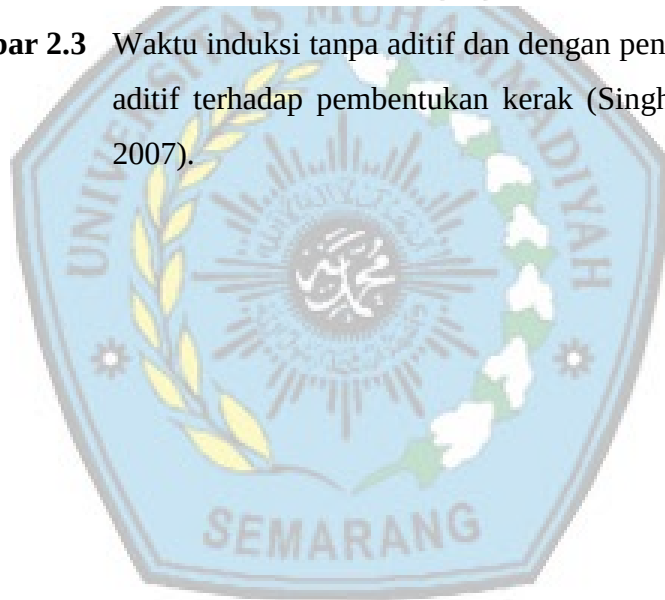
Waktu induksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu ion, di mana ion-ion dalam larutan tersebut akan bereaksi, sehingga akan terjadi pembentukan inti kristal yang pertama kalinya. Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal terbentuk, sebaliknya bila semakin besar berarti semakin lama inti kristal terbentuk. Inti kristal selanjutnya menjadi pusat-pusat pertumbuhan kerak sehingga semakin banyak inti yang terjadi akan semakin banyak jumlah kerak yang terbentuk. Ini berarti bahwa bila waktu induksi kecil maka jumlah kerak yang terbentuk akan semakin banyak (Ma'mun dkk,2013).

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

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



Gambar 2.3 Waktu induksi tanpa aditif dan dengan penambahan beberapa aditif terhadap pembentukan kerak (Singh dan Middendorf, 2007).

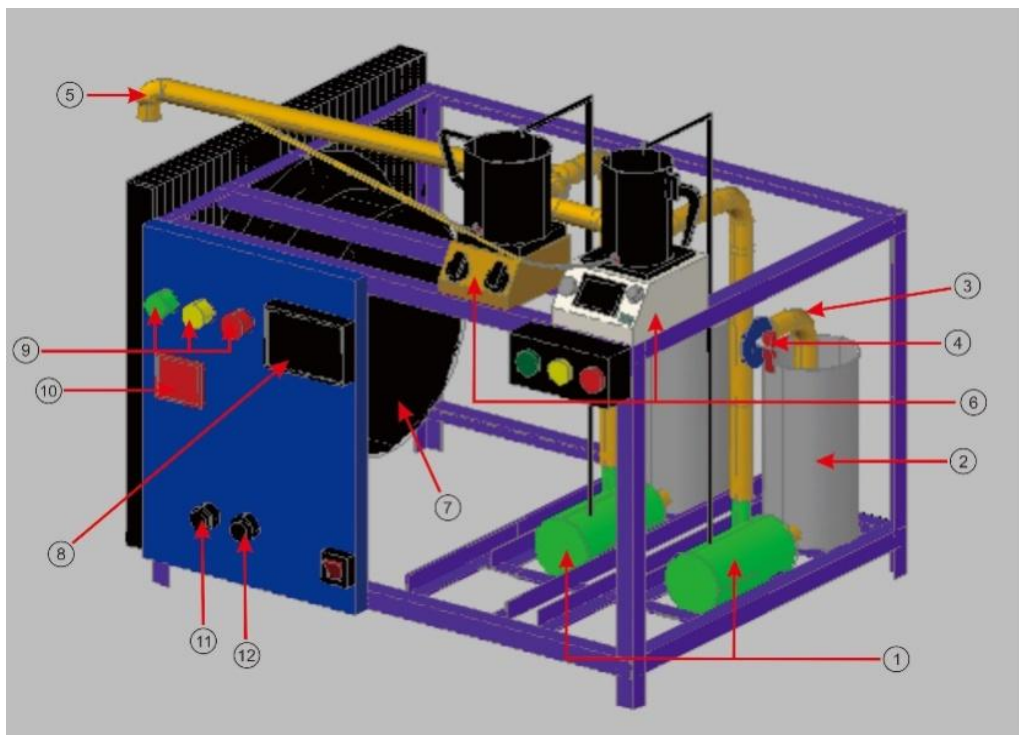


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian ini kita menggunakan alat *Closed Circuit Scale Simulator* untuk mensimulasikan proses terjadinya pergerakan pada pipa. Gambar desain *prototype Close Sircuit Scale Simulator* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar :3.1Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator*

Keterangan :

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

3.1.1 Bagian-bagian Alat Uji

1. Saklar Pompa

Saklar pompa berfungsi untuk menyambung dan memutuskan arus yang menuju ke pompa. Saklar ini dianggap sebagai saklar utama karena dengan menyalakan saklar pompa ini maka sistem pengujian mulai berjalan.



Gambar 3.2 Saklar Pompa

2. Pompa Fluida

Pompa ini berfungsi untuk mengalirkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat yang lain atau dari tempat yang rendah menuju ke tempat yang lebih tinggi. Pada alat ini pompa berfungsi mengalirkan larutan CaCO_3 dan CaSO_4 dari bak penampung menuju ke rumah sampel/kupon.



Gambar 3.3 Pompa Fluida

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

Pada alat ini menggunakan pompa iwaki dengan spesifikasi pompa sebagai berikut :

- *Merk* : Iwaki Magnet Pump
- *Type* : MD-30R-220N
- *Max Capacity* : 32/38L/menit
- *Max Heead* : 3.8/5.4 m
- *Voltage* : 220/240 v
- *Power* : 60/80 w
- *Output* : 45 w
- *Power consumption* : 60/80 w
- *Current* : 45 w

3. Reservoir atau Bak Penampung

Reservoir atau bak penampung ini digunakan sebagai wadah dari larutan CaCO_3 dan CaSO_4 sebelum dialirkan pompa menuju ke rumah sampel/kupon sebagai kelanjutan dari pengujian.

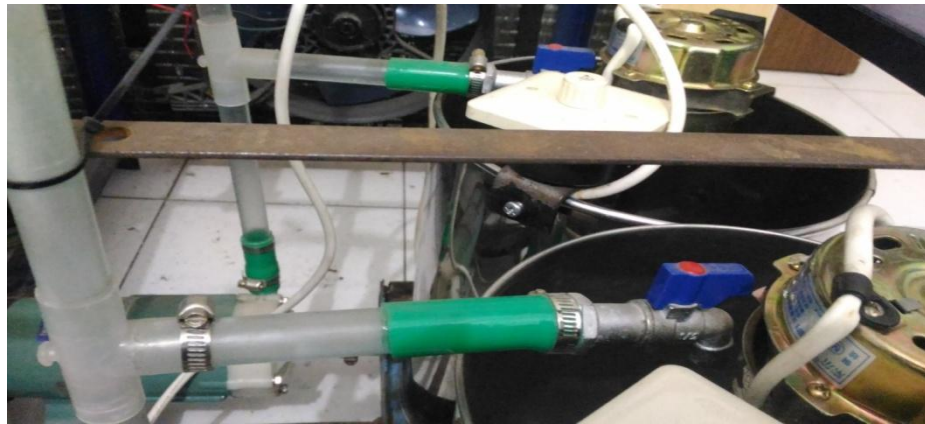


Gambar 3.4 Reservoir atau Bak Penampung

4. Saluran Bypass

Saluran bypass ini berperan untuk mengembalikan cairan yang berlebih yang dikeluarkan dari pompa. Saluran ini juga bertujuan untuk mengurangi tekanan yang diberikan oleh output pompa karena sistem hanya memerlukan output kecil dan mencegah terjadinya

ledakan pada keran karena tekanan berlebihan yang dikeluarkan oleh pompa.



Gambar 3.5 Saluran Bypass

5. Rumah Sampel

Pada pengujian ini rumah sampel ini berfungsi sebagai tempat terjadinya pembentukan kerak pada kupon yang telah dimasukkan ke dalam rumah sampel.



Gambar 3.6 Rumah Sampel

6. Monitor Grafik Panel

Monitor ini digunakan untuk pembacaan atau perekaman hasil pengujian yang ditampilkan dalam bentuk grafik yang akan muncul pada layar monitor.



Gambar 3.7 Monitor Grafik Panel

Pada alat pengujian ini monitor grafik panel menggunakan Autonics Graphic Panel GP-SO70 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- *Merk* : Autonics Graphic Panel
- *Type* : GP-SO70
- *Power supply* : 24VDC
- *Power consumption* : Max. 7.2W
- *LCD Type* : TFT Color LCD
- *Resolution* : 800 x 480 dot
- *Color* : 16.777.216 color

7. Lampu Indikator

Lampu indikator ini berfungsi sebagai penanda yang menunjukkan bahwa sebuah alat dari beberapa alat tersebut dalam kondisi menyala atau mati.



Gambar 3.8 Lampu Indikator

3.2.2 Alat Ukur Yang Digunakan

1. Stopwatch

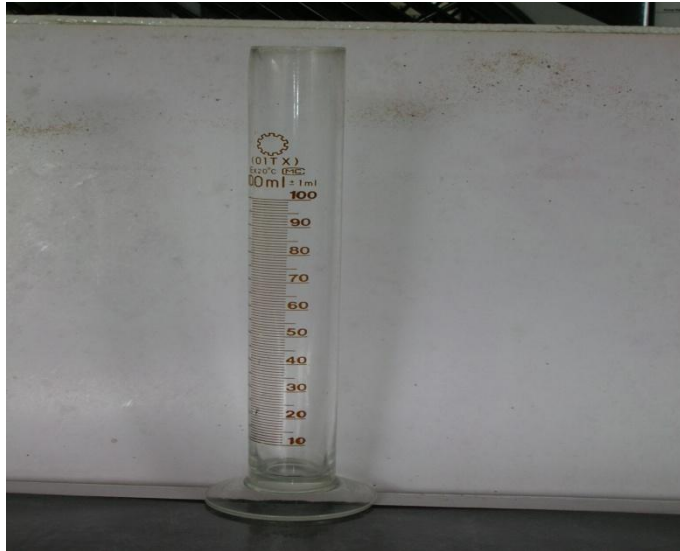
Stopwatch ini digunakan untuk menentukan jeda waktu pada saat pengambilan data konduktifitas cairan pada saat pengujian.



Gambar 3.9 Stopwatch

2. Gelas Ukur

Gelas ukur ini berfungsi untuk mengetahui besaran volume cairan pada saat pengambilan data aliran per waktu yang ditentukan. Gelas ukur ini terbuat dari kaca dan pada dinding gelas ini terdapat garis-garis per strip dengan satuan mililiter (ml), dan pembacaan gelas ukur ini dapat menampung volume cairan dari 10 hingga 100 ml.



Gambar 3.10 Gelas Ukur

3. Conductivity Meter

Dalam pengujian ini conductivity meter digunakan untuk menentukan seberapa besar konduktifitas pada cairan. Pengkalibrasian conductivity meter ini dapat dilakukan dengan pengukuran ke cairan aquades, karena aquades tidak mengandung ion-ion maka conductivity meter ini akan menunjukkan angka nol jika conductivity meter ini masih normal / tidak rusak masih dapat membaca dengan baik dan akurat.



Gambar 3.11 Conductivity Meter

4. Timbangan

Timbangan ini berfungsi untuk menimbang masa sampel sebelum dan sesudah diuji. Timbangan yang digunakan dalam pengujian ini memiliki tingkat akurasi timbangan hingga 0,00001 gram. Karena memiliki tingkat pengukuran yang sangat rendah / sensitif maka udara pada ruang penimbangan harus dijaga atau kedap udara sehingga keakurasian timbangan benar-benar akurat.



Gambar 3.12 Timbangan

3.2 Bahan Penelitian

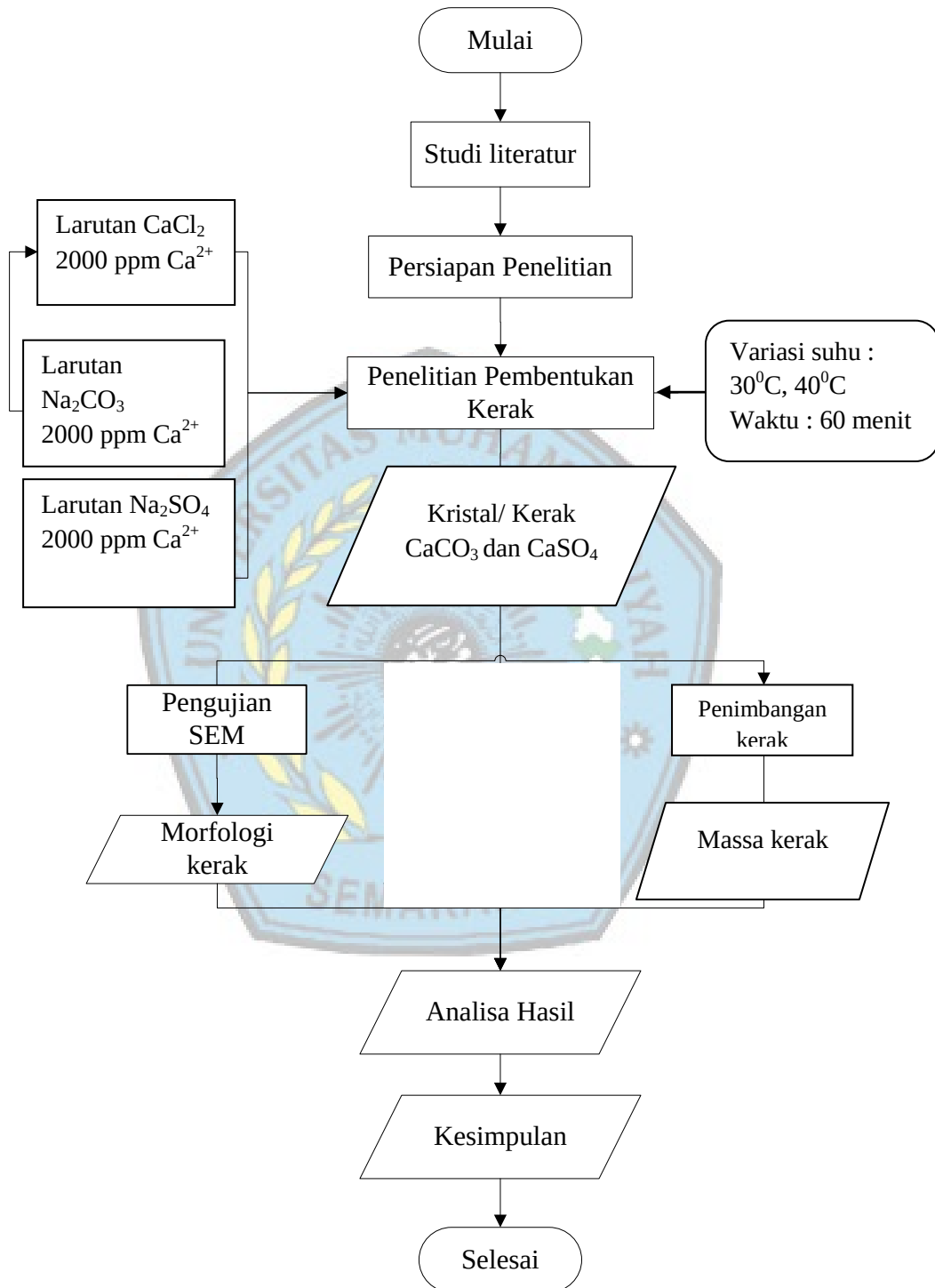
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_2SO_4 dengan konsentrasi Ca^{+2} 2000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2SO_4 (*Natrium Sulfate*) grade : analitik
- Larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi Ca^{+2} 2000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2CO_3 (*Natrium Carboant*) grade : analitik
- Larutan CaCl_2 dengan konsentrasi Ca^{+2} 2000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal CaCl_2 (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Aquades

3.3 Diagram Alir Penelitian

Dalam melakukan suatu penelitian maka diperlukan suatu metodologi, agar prosedur penelitian berjalan dengan baik dan teratur untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan apa yang diharapkan dalam penelitian. Maka dalam

suatu penelitian diperlukan alur/aliran proses penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Diagram Alir Penelitian

3.4 Langkah Penelitian

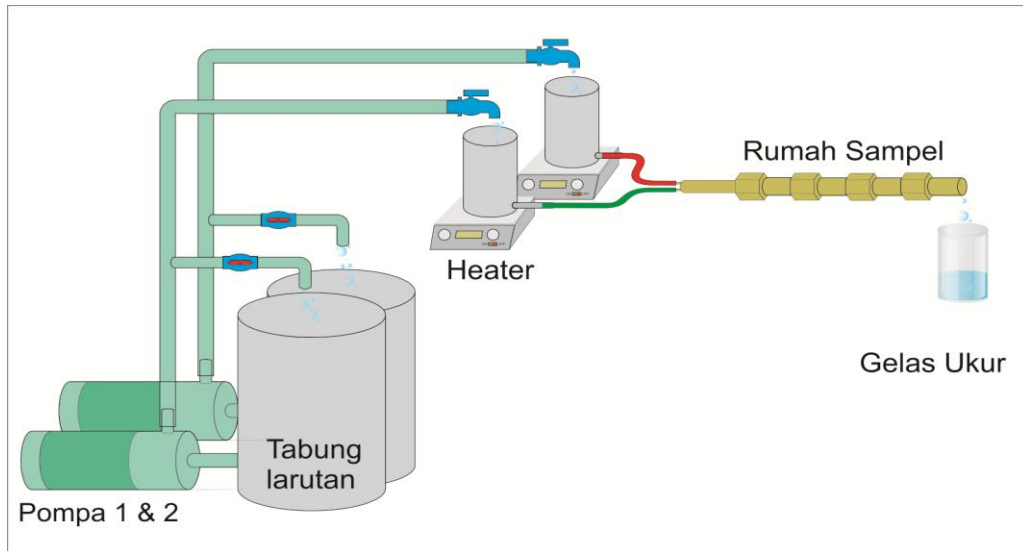
Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pembentukan kerak pada pipa beraliran laminar dengan melalui tahap-tahap sebagai berikut :

3.4.1. Alat Eksperimen Pembentukan Kerak

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang dikembangkan dari peneliti terdahulu. Alat tersebut terdiri dari empat buah bejana yaitu dua bejana dibawah (1,2) dengan kapasitas 6 liter dan dua bejana diatas (3, 4) dengan kapasitas 0,8 liter. Fungsi dari bejana tersebut adalah untuk menampung larutan CaCl_2 pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na_2SO_4 dan larutan Na_2CO_3 pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang berfungsi untuk memompa larutan CaCl_2 dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_2SO_4 dan larutan Na_2CO_3 dari bejana 2 ke bejana 4. Permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 dijaga agar keduanya mempunyai ketinggian yang sama dan dapat diatur naik atau turun untuk mendapatkan perbedaan ketinggian permukaan dengan pengeluaran akhir dari rumah kupon sehingga dapat digunakan untuk mengatur laju aliran.

Larutan yang berada didalam bejana 3 dan 4 kemudian secara bersamaan dialirkan menuju kupon, selanjutnya larutan tersebut mengalir dan masuk kedalam bejana penampungan yang kemudian dibuang sebagai limbah. Didalam kupon-kupon larutan CaCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak CaSO_4 dan CaCO_3 .

3.4.2. Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*



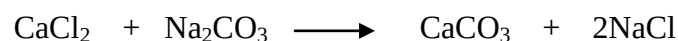
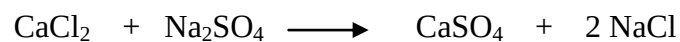
Gambar3.14 Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

3.4.3. Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai desain yaitu 30 ml/menit. Pengujian dilakukan dengan cara trial and error sebanyak sepuluh kali dengan mengatur harga Δh yaitu selisih ketinggian antara permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 terhadap saluran pembuangan limbah atau pengeluaran aliran pada akhir kupon, setelah itu dihitung standar deviasinya. Dengan demikian alat yang dibuat mempunyai laju alir yang stabil 30 ml/menit.

3.4.4. Pembuatan Larutan CaCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3

Pembentukan kerak CaSO_4 dan CaCO_3 pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan CaCl_2 dengan Na_2SO_4 dibawah ini



Untuk membuat larutan CaCl_2 dengan Na_2SO_4 dan Na_2CO_3 pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang

direncanakan yaitu 2000 ppm Ca^{2+} dengan laju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 2000 ppm Ca^{2+} .

Cara perhitungan kebutuhan zat dan larutan untuk percobaan dengan laju alir 30 ml/menit.

Waktu percobaan	= 1 jam
Laju alir larutan	= 30 ml/menit
Volume larutan yang dibutuhkan (4x60x 25ml)	= 6000 ml
Volume larutan CaCl_2 2000 ppm Ca^{2+}	= 5000 ml
Volume larutan Na_2SO_4 2000 ppm Ca^{2+}	= 5000 ml
Volume larutan Na_2CO_3 2000 ppm Ca^{2+}	= 5000 ml

Setiap percobaan ada sisa larutan masing - masing ditabung atas sebanyak 800 ml maka untuk memudahkan pembuatan larutan, kedua jenis larutan tersebut masing-masing disiapkan sebanyak 4000 ml sehingga jumlah larutan yang dibutuhkan adalah :

Volume larutan CaCl_2 yang disiapkan	= 5000 ml
Volume larutan Na_2SO_4 yang disiapkan	= 5000 ml
Volume larutan Na_2CO_3 yang disiapkan	= 5000 ml

Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal CaCl_2 dan Na_2SO_4 .

Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 30 ml/menit

Berat molekul (BM) CaCl_2	= 110,98 g/mol
Berat Atom (BA) Ca	= 40
Berat molekul (BM) Na_2SO_4	= 105,99 g/mol
2000 ppm Ca^{2+}	= 2000 mg/ liter

Untuk volume 5000 ml atau 5 liter, kebutuhan Ca^{2+} adalah

$$2000 \text{ mg/litert} \times 5 \text{ lt} = 10.000 \text{ mg} \quad = 10 \text{ gram}$$

Sehingga CaCl_2 yang dibutuhkan adalah

$$(110,98 / 40) \times 10 \text{ gram} \quad = 27.745 \text{ gram}$$

$$\text{Berat atom (BA) Ca} = 40 \text{ maka } 27.745 / 111 = 0,2499 \text{ mol}$$

Karena equimolar maka kristal Na_2SO_4 yang dibutuhkan adalah

$$0,2499 \times 142,01 \quad = 35,4936 \text{ gram}$$

Untuk kristal Na_2CO_3 yang dibutuhkan adalah

$$0,2499 \times 105,99 \quad = 26,49086 \text{ gram}$$

Dari hasil perhitungan seluruhnya dapat dimasukkan dalam tabel sehingga mudah untuk dijadikan pedoman pada saat pembuatan larutan. Setelah semua perhitungan yang diperlukan untuk pembuatan larutan selesai, maka dilanjutkan untuk persiapan pembuatan larutan tersebut. Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam pembuatan larutan adalah *aquades*, kristal CaCl_2 , kristal Na_2SO_4 , kristal Na_2CO_3 , kristal asam sitrat, timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring. Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang kristal CaCl_2 , kristal Na_2SO_4 , Kristal Na_2CO_3 sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya yaitu memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal CaCl_2 . kedalam bejana kemudian diaduk dan dilanjutkan lagi dengan memasukkan *aquades* kedalam bejana hingga volumenya mencapai lima liter dan diaduk lagi sampai merata. Setelah larutan tercampur merata maka dilakukan penyaringan dengan kertas saring 0,22 μm . Sebelum digunakan larutan disimpan dalam bejana tertutup agar terhindar dari debu.

3.4.5. Persiapan Pipa Uji

Jenis kupon yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis kupon yang terbuat dari pipa kuningan (*seamless brass tube*) dengan kadar tembaga antara 60-90%. Kupon adalah komponen yang dipasang pada

sistem aliran yang diharapkan disitulah akan terjadi pengendapan kerak kalsium sulfat dan kalsium karbonat. Kupon berbentuk pipa yang selanjutnya dikerjakan melalui proses permesinan menjadi bentuk pipa.



Gambar 3.15Kupon/Sampel

Jumlah kupon ada empat dipasang dari bawah ke atas masuk ke rumah kupon. dimensi kupon adalah panjang 30 mm diameter luar 18 mm dan diameter dalam 12,5 mm. Sebelum dipasang pada rumahnya terlebih dahulu kupon dipoles hingga permukaan bagian dalam menjadi kasar dan di ukur kekasarannya. Selanjutnya dicelupkan ke dalam cairan HCl selama 3 menit kemudian dibilas dengan air bersih dan dibilas dengan aquades. Setelah itu dikeringkan menggunakan hairdryer, dengan demikian kupon siap dipasang pada rumah kupon.

3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data percobaan dilakukan dengan variasi suhu 30°C dan 40°C . Larutan Na_2SO_4 , Na_2CO_3 dan CaCl_2 masing-masing sebanyak lima liter dimasukkan masing-masing ke dalam bejana 1 dan bejana 2. Setelah itu pompa dihidupkan dan larutan naik mengisi sampai batas atas bejana 3 dan bejana 4, kemudian pompa dimatikan. Beberapa saat kemudian pompa dihidupkan kembali dan larutan mulai mengisi kupon, dengan demikian percobaan telah dimulai. Pencatatan waktu pada saat yang sama juga diaktifkan dimana setiap dua menit sekali perlu dilakukan pengukuran terhadap konduktivitas larutan. Untuk melakukan pengukuran konduktivitas larutan, maka larutan yang keluar dari kupon ditampung pada bejana kecil

yang terbuat dari plastik dan sesegera mungkin elektroda conductivitymeter dimasukkan.

Conductivitymeter akan mengukur nilai konduktivitas larutan (pembacaan digital mulai berjalan dari nol kemudian naik sampai akhirnya berhenti). Angka yang terakhir inilah yang dicatat, dan seterusnya dilakukan berulang-ulang setiap dua menit sekali. Setelah empat jam, pompa dihentikan dan saluran menuju kupon dilepas. Satu jam kemudian kupon diambil dari rumah kupon dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama dua belas jam. Penimbangan massa kerak dilakukan pada waktu kerak masih menempel pada kupon. Selanjutnya selisih massa kupon dengan kerak dikurangi massa kupon tanpa kerak adalah massa kerak itu sendiri.

3.6 Pengujian SEM

Pengujian morfologi kristal dapat dilakukan pada instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM. Pada pengujian ini yang dilakukan terlebih dahulu adalah langkah persiapan yaitu pemberian nomor pada spesimen dan pelapisan spesimen dengan AuPd (*Aurum Paladium*). Pada proses ini spesimen diletakkan padaudukan sesuai dengan nomor identifikasi dan selanjutnya dimasukkan kedalam mesin *Sputter Coater*. Setelah spesimen dimasukkan kedalam tabung kaca pada *Sputter Coater* dilakukan penghisapan udara yang berada dalam ruang kaca sehingga udara di dalam tabung habis dan dilanjutkan dengan pengisian gas argon kedalam tabung kaca. Setelah itu barulah dilakukan coating AuPd terhadap spesimen di dalam tersebut.

Langkah selanjutnya spesimen dimasukkan ke dalam SEM sesuai dengan nomor identifikasi pengambilan fokus. Setelah itu dilakukan penghisapan udara pada alat tersebut sehingga terjadi kevakuman. Kemudian dilakukan pengambilan gambar, pengaturan resolusi dan ukuran pembesaran dikendalikan melalui *software* yang secara langsung terbaca pada monitor SEM. Setelah mendapatkan hasil pengujian SEM seperti yang diharapkan maka dilanjutkan untuk mengkaji struktur mikro dengan menggunakan alat *microanalyser* dimana perangkat keras dan *software* telah dipasang integrated

dalam alat SEM sehingga tidak perlu melepas atau memindahkan spesimen, dengan mengambil luasan tertentu yang akan dilakukan analisa instrument hanya memerlukan waktu yang lama untuk mengetahui komposisi kristal baik dalam prosentase berat maupun atom.

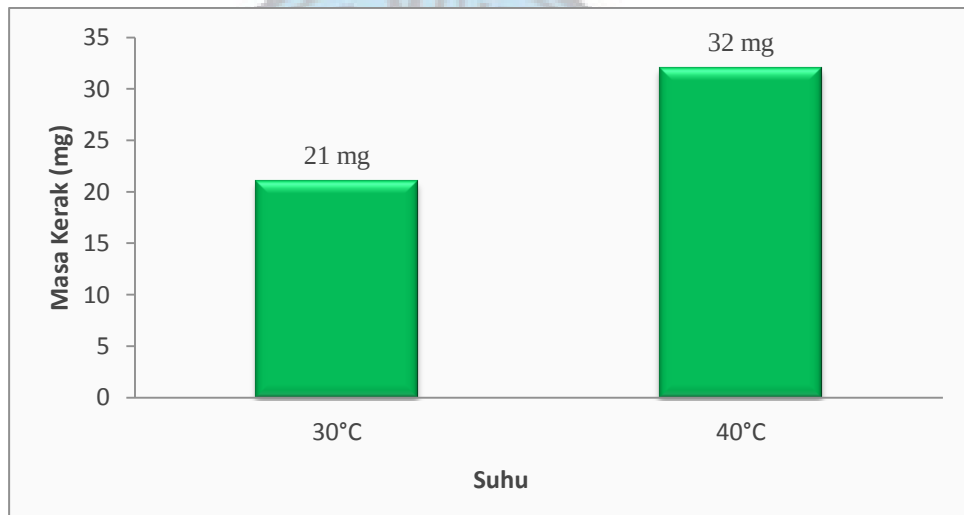


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Suhu Terhadap Massa Kerak CaSO_4 dan CaCO_3

Penelitian ini mengenai pengaruh suhu terhadap massa kerak CaCO_3 dan CaSO_4 dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu terhadap pembentukan massa kerak. Suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30°C dan 40°C dengan konsentrasi Ca^{2+} 2000 ppm. Hasil variasi suhu tersebut kemudian dilakukan penimbangan. Pengaruh suhu terhadap massa kerak ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara suhu dengan massa kerak (mg).

Dari grafik hubungan antara temperatur dengan masa kerak tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka kerak yang terbentuk akan semakin banyak. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi suhu tinggi, reaksi antara reaktan yang terjadi pada CaCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 akan berjalan lebih cepat dibandingkan dengan kondisi suhu rendah. Maka semakin tinggi suhu di dalam suatu reaksi akan memberikan tekanan yang kuat, sehingga tumbukan antara molekul reaktan pada CaCl_2 dan Na_2SO_4 , Na_2CO_3 akan semakin banyak, sehingga kecepatan reaksi antar molekul reaktan akan meningkat dan jumlah kerak yang terbentuk semakin banyak. Untuk

mengetahui selisih prosentase masa kerak pada suhu 30°C dan 40°C dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

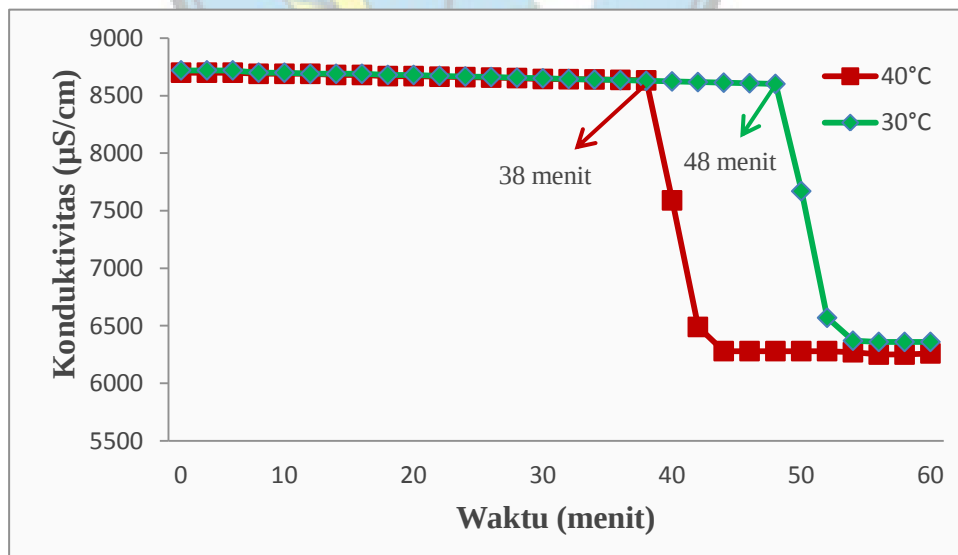
$$32 \text{ mg} - 21 \text{ mg} = 11 \text{ mg}$$

$$\frac{11 \text{ mg}}{32 \text{ mg}} \times 100\% = 34,37\%$$

Jadi prosentase peningkatan masa kerak dari suhu 30°C ke 40°C mengalami peningkatan sekitar 34,37%.

4.2 Analisa Waktu Induksi

Waktu induksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh suatu ion di mana ion-ion dalam larutan tersebut akan bereaksi antar satu sama lain, sehingga akan terjadi pembentukan inti kristal yang pertama kalinya. Analisa waktu induksi ini dilakukan untuk mengetahui tentang waktu yang dibutuhkan senyawa kalsium sulfat untuk membentuk inti kristal pertama kalinya. Waktu induksi ini ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion kalsium telah bereaksi dengan ion sulfat dan mengendap membentuk kerak (*scale*). Waktu induksi larutan pada suhu 30°C dan 40°C dapat dilihat pada Gambar 4.2 grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.

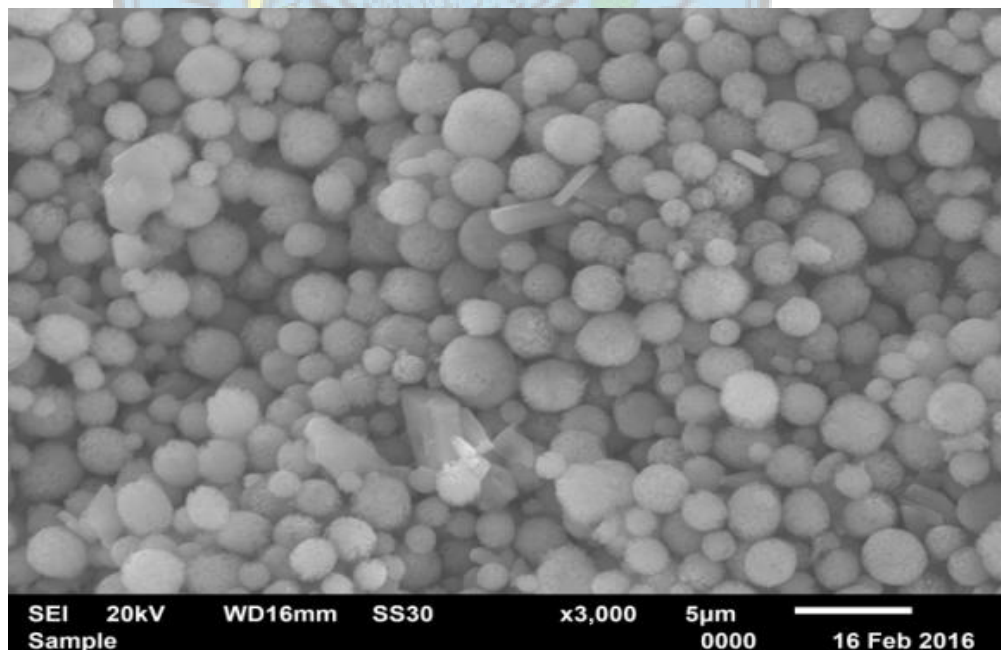


Gambar 4.2 Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

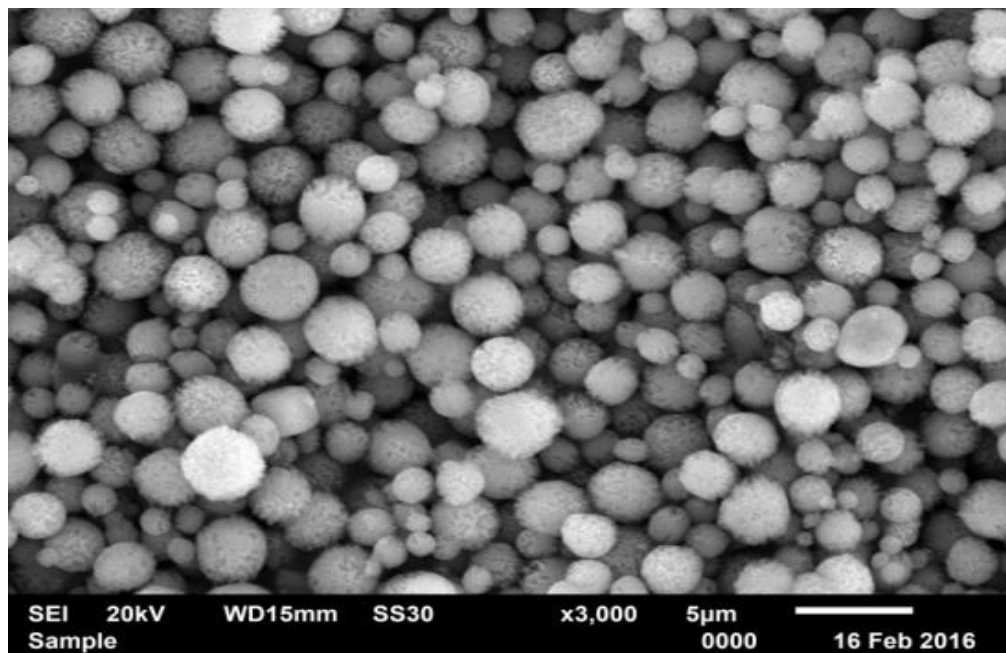
Grafik diatas merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian pada variasi temperatur. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa waktu induksi pada suhu 40⁰C yaitu 38 menit lebih cepat dibandingkan pada suhu 30⁰C yaitu 48 menit. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur, maka tumbukan antara ion Ca²⁺, CO₃²⁻ dan SO₄²⁻ akan semakin meningkat sehingga kerak yang terbentuk semakin banyak. Akibat tumbukan, jumlah ion-ion menjadi berkurang, sehingga konduktivitasnya menjadi semakin berkurang (Muryanto dkk, 2014).

4.3 Pengujian SEM

Pengujian SEM ini dilakukan untuk mengetahui morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyzer* bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal. Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal tersebut. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4.3 Morfologi kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat hasil percobaan 30⁰C pada konsentrasi Ca²⁺ 2000 ppm dengan perbesaran 3000 kali.



Gambar 4.4 Morfologi kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat hasil percobaan 40⁰C pada konsentrasi Ca²⁺ 2000 ppm dengan perbesaran 3000 kali.

Setelah melakukan pengamatan dari hasil uji SEM yang tercantum pada Gambar 4.3 dan 4.4 dengan perbesaran 3000 kali, didapatkan hasil proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan CaSO₄ 2000 ppm dengan variasi temperatur 30⁰C dan 40⁰C. Gambar 4.3 merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi temperatur 30⁰C. Pada gambar 4.3 tersebut terlihat bahwa jenis kristal CaCO₃ (kalsium karbonat) berbentuk granul bulatan (rombohedral) dan CaSO₄ (gypsum) berbentuk lempengan. Gambar 4.4 merupakan hasil uji kristalisasi dengan temperatur 40⁰C. Pada Gambar 4.4 tersebut terlihat bahwa bentuk kristal semakin besar dan saling melekat satu sama lain.

Dari kedua hasil uji SEM tersebut menandakan bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin banyak fasa calsit (CaCO₃) yang terbentuk. Hal ini ditunjukkan pada gambar hasil SEM semakin rapat dan besar bentuk granul bulatan. Apabila kristal ini terbentuk dan mengendap di dalam pipa maka akan menghasilkan kerak yang sulit untuk dibersihkan dari suatu sistem perpipaan. Sedangkan kedua jenis kristal lainnya, yaitu aragonite dan vaterite,

merupakan jenis *softscale* yang lebih mudah dibersihkan apabila menempel pada dinding dalam pipa (Holysz dkk, 2007).



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Semakin tinggi suhu, maka kerak yang terbentuk akan semakin banyak yaitu sebesar 34,37%. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu membuat nilai tetapan laju reaksi meningkat.
2. Dari hasil SEM semakin besar temperatur maka semakin banyak fasa calsit (CaCO_3) yang terbentuk. Hal ini ditunjukkan pada gambar hasil SEM semakin rapat dan besar-besar yang bentuk granul bulatan (rombohedral) dibandingkan bentuk plat lempengan.

5.2 Saran

1. Penelitian kerak CaCO_3 dan CaSO_4 dapat dilakukan kembali dengan alat penelitian yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), penggunaan aditif yang berbeda (asam fosfat, asam kromat, dll atau dengan ion Mg, Cu, dll) , dengan jenis aliran turbulen, dll.
2. Penelitian untuk jenis kerak yang lain (seperti kerak barium sulfat, strontium sulfat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimi, F., Tlili, M., Amor, M.B., Gabrielli, C., Maurin, G. (2007), *Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation*, Desalination, 206, 163-168.
- Amor, M. B., Zgolli, D., Tlili, M. M., Manzola, A. S. (2004). *Influence of water hardness, substrate nature and temperature on heterogeneous calcium carbonate nucleation*. Desalination, 166, 79-84.
- Antony, A., Low, J. H., Gray, S., Childress, A. E., Le-Clech, P., Leslie, G. (2011). *Scale formation and control in high pressure membrane water treatment systems: A review*. Journal of Membrane Science, 383, 1-16.
- Asnawati., (2001). *Pengaruh temperatur terhadap reaksi fosfonat dalam inhibitor kerak pada sumur minyak*. Jurnal Ilmu Dasar, Vol. 2. No. 1, Hal.20-26.
- 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.
- Han, Y. S., Hadiko, G., Fuji, M., & Takahashi, M. (2005). *Effect of flow rate and CO₂ content on the phase and morphology of CaCO₃ prepared by bubbling method*. Journal of Crystal Growth, 276(3), 541-548.
- Isopescu, R., Mateescu, C., Mihai, M., Dabija, G. (2010). *The effects of organic additives on induction time and characteristics of precipitated calcium carbonate*. Chemical Engineering Research and Design, 88, 1450-1454.
- Jamaialahmadi, M dan Muller-Steinhagen, H, (2007) *heat exchanger fouling and cleaning in the dehydrate proces for the production acid*, Chemical Engineering Research and design, 338, no. 5.
- Kiaei, Z., Haghtalab, A. (2014). *Experimental study of using Ca-DTPMP nanoparticles in inhibition of CaSO₄ scaling in a bulk water process*, Desalination, 33, 84-92.

- Martos, C., Coto, B., Pena, J., L., Rodriguez, R., Merino-Garcia, D., Pastor, G. (2010), *Effect of Precipitation and detection technique on particle size distribution of CaCO₃*, Elsevier B.V.
- Ratna, P., S. (2011), *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Samsudi Raharjo., S. Muryanto., J. Jamari., AP. Bayuseno, (2016), Model dan Optimasi Variabel Suhu, Konsentrasi, Asam Sulfat pada Pembentukan Kerak Kalsium Karbonat, IJAER Vol. 11 no. 15.
- Samsudi Raharjo., S. Muryanto., J. Jamari., AP. Bayuseno, (2016), Pembentukan Kerak CaCO₃ pada Pipa Beraliran Laminer, *Matech Web Convergence*.
- Zeiher, E.H.K., H. Bosco, and K. D. Williams. 2003. *Novel Antiscalant Dosing Control*. Desalination 157. 209-216.



LAMPIRAN

1. Pengaruh Laju Alir Terhadap Massa Kerak

Suhu	Massa kerak (mg)
30 ⁰ C	21
40 ⁰ C	32

2. Data Hubungan Waktu Terhadap Konduktivitas

Waktu	30 ⁰ C	40 ⁰ C
2	8720	8700
4	8720	8700
6	8720	8700
8	8700	8690
10	8700	8690
12	8690	8690
14	8690	8680
16	8690	8680
18	8680	8670
20	8680	8670
22	8672	8665
24	8667	8661
26	8662	8657
28	8656	8653
30	8651	8649
32	8645	8645
34	8640	8641
36	8635	8637
38	8629	8633
40	8624	7590
42	8618	6490
44	8613	6280
46	8608	6280
48	8602	6280
50	7670	6280
52	6570	6280
54	6370	6270
56	6360	6250
58	6360	6250
60	6360	6260

Hasil Pengujian Kerak

1. Kerak yang menempel di pipa pengujian



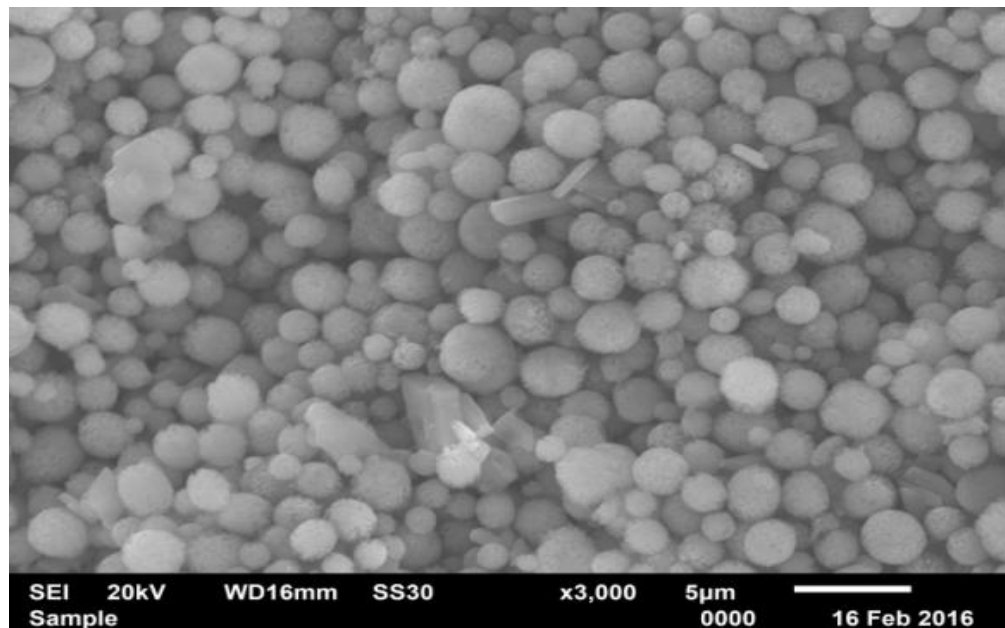
2. Hasil kerak



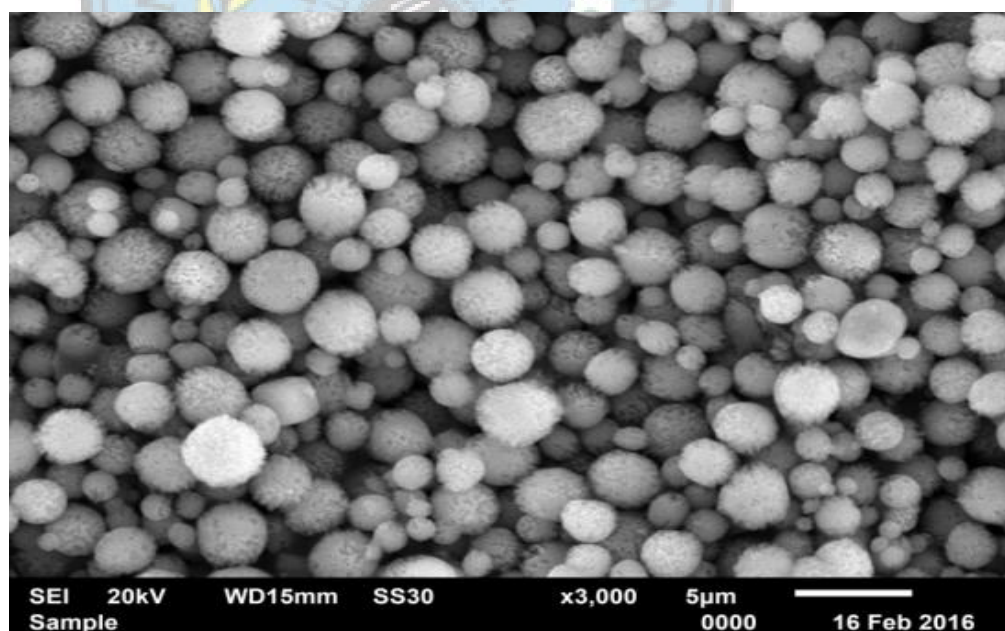
\

Hasil SEM (konsentrasi Ca^{2+} 2000 ppm)

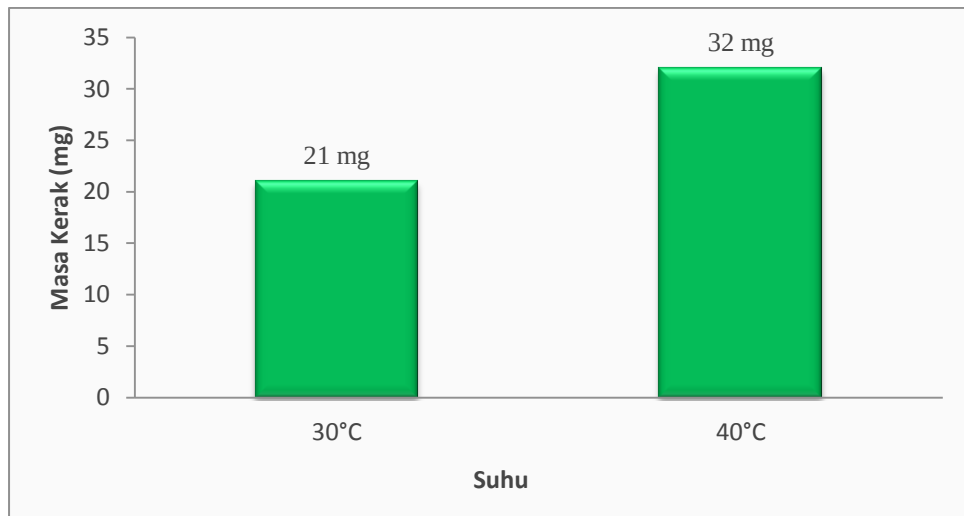
1. Suhu 30°C



2. Suhu 40°C



Grafik Hubungan Antara Suhu Dengan Masa Kerak



Grafik Hubungan Konduktivitas Dengan Waktu

