PEMBENTUKAN KERAK $CaCO_3$-$CaSO_4$ DENGAN KONSENTRASI Ca^{2+} 3000 ppm PADA SUHU 30^0C DAN 40^0C 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:

Mahful Doni Nugroho

C2A012007

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK MESIN

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG

2016

http://lib.unimus.ac.id

PEMBENTUKAN KERAK $CaCO_3$-$CaSO_4$ DENGAN KONSENTRASI Ca^{2+} 3000 ppm PADA SUHU 30^0C DAN 40^0C DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR

Disusun oleh:

Mahful Doni Nugroho

C2A012007

Program Studi S1 Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

Menyetujui :

Tim Pembimbing

Tanggal ……..

Ka.Prodi PTSM UNIMUS

(Rubijanto Juni P. ST., MT.)

NIK. 28.6.1026.091

Pembimbing	Co. Pembimbing
Drs. H. Samsudi Raharjo ST., MT., MM.	(Rubijanto Juni P. ST., MT.)
NIK. 28.6.1026.028	NIK. 28.6.1026.091

http://lib.unimus.ac.id

PEMBENTUKAN KERAK $CaCO_3$-$CaSO_4$ DENGAN KONSENTRASI Ca^{2+} 3000 ppm PADA SUHU 30^0C DAN 40^0C DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR

Oleh :
Mahful Doni Nugroho
C2A012007
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang
E-mail : mahfuldoninugroho@gmail.com

Abstrak

Pada sistem perpipaan dalam rumah tangga maupun industri, kerak menimbulkan banyak permasalahan dari segi teknis maupun ekonomis. Dikatakan seperti itu karena kerak menyebabkan penyumbatan lubang aliran *fluida* yang mengalir dalam pipa dan dapat menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas. Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk mengembangkan alat *Closed Circuit Scale Simulator*, memahami lebih rinci mekanisme pembentukan kerak $CaCO_3$ dan $CaSO_4$ pada suhu 30^0C dan 40^0C di dalam pipa dan mengkaji hasil morfologi kerak. Hasil selama pengujian yang didapat dengan mereaksikan Na_2SO_4, Na_2CO_3 dan $CaCl_2$ menggunakan larutan Ca^{2+} berkonsentrasi 3000 ppm dengan pengukuran waktu induksi. Hasil penelitian didapatkan waktu induksi untuk suhu 30^0C adalah 40 menit dengan nilai konduktivitas 8645 µS/cm sedangkan suhu 40^0C memiliki waktu induksi 32 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8624 µS/cm. Dari hasil SEM menunjukan 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.

http://lib.unimus.ac.id

FORMATION IRON SLAG $CaCO_3$ - $CaSO_4$ WITH CONCENTRATE Ca^{2+} 3000 ppm ON THE TEMPERATURE 30^0C AND 40^0C IN THE FLOW OF LAMINAR

by :
Mahful Doni Nugroho
C2A012007
Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering
Universitas Muhammadiyah Semarang
E-mail: mahfuldoninugroho@gmail.com

Abstract

On the system conduit in the household and industry, iron slag make a lot problems in terms of technical and economic. Said like that because iron slag can jammed the flow of fluid flowing the conduit and can impede process to removal of hot on the equipment floating hot. The goal of done this research, to develop equipmernt Closed Circuit Scale Simulator, understand more detail mechanism formation iron slag $CaCO_3$ and $CaSO_4$ on the temperature 30^0C and 40^0C in the conduit once examines the result of morfologi iron slag. Results for trial obtained by reaction Na_2SO_4, Na_2CO_3 and $CaCl_2$ use liquid Ca^{2+} 3000 ppm with measurement time of induction. Result of research find time induction for temperature 30^0C is 40 minutes with value of conductivity 8645 µS/cm, while for temperature 40^0C have time induction 32 minutes with the value of conductivity of 8624 µS/cm. The result of the SEM show the form of morphology iron slag $CaCO_3$ is calcite and $CaSO_4$ is gypsum.

Keyword : Iron Slag $CaCO_3$ and $CaSO_4$, Temperature, Time induction, Morphology of iron slag.

http://lib.unimus.ac.id

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mahful Doni Nugroho

NIM : C2A012007

Judul Tugas Akhir : PEMBENTUKAN KERAK $CaCO_3$-$CaSO_4$ DENGAN KONSENTRASI Ca^{2+} 3000 ppm PADA SUHU 30^0C DAN 40^0C DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR.

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, 28 Juli 2016

Yang menyatakan,

Mahful Doni Nugroho

http://lib.unimus.ac.id

SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini saya :

Nama : Mahful Doni Nugroho
NIM : C2A012007
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Mesin
Jenis Penelitian : Tugas akhir / Tugas Akhir
Judul : PEMBENTUKAN KERAK $CaCO_3$-$CaSO_4$ DENGAN KONSENTRASI Ca^{2+} 3000 ppm PADA SUHU 30^0C DAN 40^0C DALAM PIPA BERALIRAN LAMINAR

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 penyimpan, 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, 28 Juli 2016

Yang Menyatakan,

Mahful Doni Nugroho

http://lib.unimus.ac.id

MOTTO

Tuhan Bersama Orang-Orang Pemberani

Semua Orang Adalah Guru Dan Alam Tempat Kita Belajar.

http://lib.unimus.ac.id

PERSEMBAHAN

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

1. Bapak dan Ibu saya tercinta dengan jerih payah selalu membiayai dan mendorong dalam menuntut ilmu.
2. Keluaga besar MPA HIMALAYA UNIMUS yang telah memberikan banyak pengalaman berharga tentunya.
3. Teman kuliah satu angkatan 2012 yang telah mendukungku.
4. Semua rekan-rekan Teknik Mesin yang telah melukis begitu banyak kenangan.
5. Semua Dosen Fakultas Teknik yang telah memberikan pengalaman dalam dunia kerja maupun pendidikan.
6. Semua Staff Universitas Muhammadiyah Semarang di kampus Kasipah.

http://lib.unimus.ac.id

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah 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+} 3000 ppm pada suhu 30^0C dan 40^0C pada pipa beraliran laminar ". 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. Masrukhi, M.Pd. Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Semarang.
2. Dr. RM. Bagus Irawan, M.Si., IPP selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang
3. Drs. H. Samsudi Raharjo, ST, MM, MT, selaku dosen pembimbing I yang telah berkenan memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran
4. Rubijanto Juni P, ST, MT, selaku selaku dosen pembimbing II sekaligus Ka.Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang
5. Orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan selalu memberikan dukungan.
6. Teman-teman satu perjuangan Teknik Mesin angkatan 2012 atas bantuannya.
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, 28 Juli 2016

Penulis,

Mahful Doni Nugroho

http://lib.unimus.ac.id

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 xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG xiv
BAB I PENDAHULUAN
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Kerak 4
2.2 Faktor pembentukan kerak 5
2.3 Mekanisme pembentukan kerak 6
2.4 Jenis-jenis Kerak 7
2.5 Kristalisasi 10
2.6 Kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat 11
2.7 Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Kerak 12
2.8 Waktu Induksi 12

http://lib.unimus.ac.id

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian 14

3.2 Alat Penelitian 14

3.3 Deskripsi Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* 15

3.4 Bagian- Bagian Alat UJi 15

3.5 Diagram Alir Penelitian 21

3.6 Langkah Penelitian 22

3.6.1 Alat Eksperimen Pembentukan Kerak 22

3.6.2 Pengujian Alat..... 23

3.6.3 Pembuatan Larutan $CaCl_2$, Na_2CO_3, Na_2SO_4 23

3.6.4 Persiapan Pipa Uji..... 25

3.7 Pengambilan Data 26

3.8 Pengujian SEM..... 27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Suhu Terhadap Massa Kerak 28

4.2 Analisa Waktu Induksi 29

4.3 Pengujian SEM 30

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 32

5.2 Saran 32

DAFTAR PUSTAKA..... 33

LAMPIRAN..... 35

http://lib.unimus.ac.id

DAFTAR TABEL

2.1 Jenis Komponen Endapan Kerak 8

2.2 Klasifikasi Pegendapan Kerak 8

2.3 Endapan Kerak yang Umum Terdapat di Dalam Ladang Minyak 9

2.4 Tabel Sistem Kristalisasi 10

http://lib.unimus.ac.id

DAFTAR GAMBAR

2.1 Endapan kerak dalam pipa 5
2.2 Waktu induksi tanpa aditif dan penambahan beberapa aditif terhadap pembentukan kerak 13
3.1 Desain prototype *Closed Circuit Scale Simulator*..... 14
3.2 *Iwaki Mangnet Pump* MD-30R-220N..... 15
3.3 Bak Penampung..... 16
3.4 Bypass 16
3.5 Kran dan Heater 17
3.6 *Autonics Graphic* Panel GP-SO70 18
3.7 Digital *Temperature Controller* TK 4S..... 18
3.8 Lampu Indikator..... 19
3.9 *Power Supply*..... 19
3.10 Saklar..... 20
3.11 Kipas..... 20
3.12 Diagram Alir Penelitian 21
3.13 Skema Closed Circuite Scale Simulator 23
3.14 Kupon/sampel..... 26
4.1 Grafik Hubungan Suhu Terhadap Massa kerak 28
4.2 Grafik Hubungan Konduktivitas Dengan Waktu 29
4.3 Morfologi Kerak Hasil Percobaan Suhu (a) 30^0C (b) 40^0C 30

http://lib.unimus.ac.id

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SEM = *Scaning Elektronik Microskop*

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)

http://lib.unimus.ac.id

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 xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG xiv
BAB I PENDAHULUAN
1.6 Latar Belakang 1
1.7 Perumusan Masalah 2
1.8 Batasan Masalah 2
1.9 Tujuan Penelitian 2
1.10 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.9 Kerak 4
2.10 Faktor pembentukan kerak 5
2.11 Mekanisme pembentukan kerak 6
2.12 Jenis-jenis Kerak 7
2.13 Kristalisasi 10
2.14 Kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat 11
2.15 Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Kerak 12
2.16 Waktu Induksi 12

http://lib.unimus.ac.id

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.9 Bahan Penelitian 14

3.10 .....

Alat Penelitian 14

3.11 Deskripsi Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* 15

3.12 Bagian- Bagian Alat UJi 15

3.13 Diagram Alir Penelitian 21

3.14 Langkah Penelitian 22

3.14.1 Alat Eksperimen Pembentukan Kerak 22

3.14.2 Pengujian Alat 23

3.14.3 Pembuatan Larutan $CaCl_2$, Na_2CO_3, Na_2SO_4 23

3.14.4 Persiapan Pipa Uji 25

3.15 Pengambilan Data 26

3.16 Pengujian SEM 27

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.4 Pengaruh Suhu Terhadap Massa Kerak 28

4.5 Analisa Waktu Induksi 29

4.6 Pengujian SEM 30

BAB V PENUTUP

5.3 Kesimpulan 32

5.4 Saran 32

DAFTAR PUSTAKA 33

LAMPIRAN 35

http://lib.unimus.ac.id

DAFTAR TABEL

2.5 Jenis Komponen Endapan Kerak 8

2.6 Klasifikasi Pegendapan Kerak 8

2.7 Endapan Kerak yang Umum Terdapat di Dalam Ladang Minyak 9

2.8 Tabel Sistem Kristalisasi 10

http://lib.unimus.ac.id

DAFTAR GAMBAR

2.3 Endapan kerak dalam pipa 5

2.4 Waktu induksi tanpa aditif dan penambahan beberapa aditif terhadap pembentukan kerak 13

3.15 Desain prototype *Closed Circuit Scale Simulator*..... 14

3.16 *Iwaki Mangnet Pump* MD-30R-220N..... 15

3.17 Bak Penampung..... 16

3.18 Bypass 16

3.19 Kran dan Heater 17

3.20 *Autonics Graphic* Panel GP-SO70 18

3.21 Digital *Temperature Controller* TK 4S..... 18

3.22 Lampu Indikator..... 19

3.23 *Power Supply*..... 19

3.24 Saklar..... 20

3.25 Kipas..... 20

3.26 Diagram Alir Penelitian 21

3.27 Skema Closed Circuite Scale Simulator 23

3.28 Kupon/sampel..... 26

4.4 Grafik Hubungan Suhu Terhadap Massa kerak 28

4.5 Grafik Hubungan Konduktivitas Dengan Waktu 29

4.6 Morfologi Kerak Hasil Percobaan Suhu (a) 30^0C (b) 40^0C 30

http://lib.unimus.ac.id

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SEM = *Scaning Elektronik Microskop*

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)

http://lib.unimus.ac.id

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Endapan kerak merupakan salah satu masalah yang serius dalam dunia perindustrian dan umumnya banyak dijumpai pada peralatan-peralatan industri minyak dan gas, proses desalinasi, ketel serta industri kimia (Badr dan Yassin, 2007; Lestari, 2004). Salah satu contoh adalah perusahaan minyak Indonesia (Pertamina, Tbk) menghabiskan sekitar 6-7 juta dolar untuk mengganti setiap pipa pada bagian geotermal setiap 10 tahun untuk mengatasi masalah kerak (Suharso dkk, 2010). Penyebab terbentuknya endapan kerak pada pipa-pipa saluran industri adalah terdapatnya senyawa-senyawa pembentuk kerak dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan sehingga 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).

Salah satu endapan kerak yang sering ditemukan adalah kerak CaSO4. Berbagai metode untuk mengontrol pembentukan kerak telah banyak dilakukan, antara lain dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air, akan tetapi penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang cukup tinggi. Hal ini karena sebagian besar biaya ditujukan untuk menyediakan air bebas mineral. Metode lain yang dapat dilakukan untuk mengontrol pembentukan kerak yaitu menggunakan asam untuk menurunkan pH larutan, rentang pH efektif untuk mencegah pengendapan kerak adalah 6,5 sampai 8,0. Namun menghilangkan kerak menggunakan asam dengan konsentrasi tinggi tidak efektif karena dapat meningkatkan laju korosi dan konduktivitas, serta mempunyai tingkat bahaya yang cukup tinggi dalam penanganannya (Lestari, 2008).

1.2. Perumusan Masalah

http://lib.unimus.ac.id

Pengerakan kalsium sulfat dan kalsium karbonat sangat merugikan dalam proses produksi sehingga harus dilakukan usaha untuk menghambat pembentukan dengan cara mengatur parameter proses yang mempengaruhi pertumbuhan, diantaranya adalah temperatur. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana proses pembentukan kerak kalsium sulfat dan kalsium karbonat dalam pipa dengan memvariasikan Suhu (30^0C, 40^0C) pada konsentrasi Ca^{2+} 3000 ppm.

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini peneliti membatasi permasalahan kerak yang dikaji yaitu kerak kalsium sulfat dan kalsium karbonat. Pemilihan ini didasari pertimbangan bahwa kerak kalsium sulfat dan kalsium karbonat adalah jenis kerak yang paling banyak dijumpai dalam lingkungan dalam industri (Rabizadeh, 2014). Pengerakan kalsium karbonat dan kalsium sulfat 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 pada variasi suhu (30, 40^0C).

1.4. Tujuan Penelitian

1. Membuktikan pengerakan kalsium sulfat dan kalsium karbonat di dalam pipa.
2. Mengetahui pengaruh suhu 30^0C dan 40^0C pada konsentrasi Ca^{2+} 3000 ppm terhadap pembentukan kerak.
3. Mengkarakterisasi kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat hasil percobaan.

1.5. Manfaat Penilitian

Penelitian ini merupakan kajian eksperimental yang hasilnya berupa data empirik tentang fenomena pembentukan kerak kalsium karbonat dan kalsium sulfat. Maka dari itu diharapkan akan memberikan manfaat pada umumnya bagi pengkajian dan pengembangan ilmu tentang kerak pada aspek proses pembentukan dan pencegahannya baik kerak dilingkungan sehari-hari maupun kerak yang muncul dalam industri, khususnya bagi para operator

http://lib.unimus.ac.id

industri yang terkait dengan bidang kerak (seperti *boiler, cooling tower* dan *heat exchanger*) bias mendapatkan tambahan sumber informasi dalam menjalankan tugasnya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kerak

Pengerakan banyak terjadi pada pipa pengaliran air, sehingga kecepatan fluida merupakan faktor yang sangat berpengaruh. Fluida yang

http://lib.unimus.ac.id

mengalir dalam pipa mempunyai uraian gaya aksial dan radial 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 gaya aksial fluida sehingga terbawa oleh aliran dan menempel pada bagian dinding lain (Kiaei dan Haghtalab, 2014).

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 kearah dinding pipa sehingga membuat inti tersebut menempel pada dinding, selanjutnya ia ditempeli oleh endapan kerak yang terbentuk kemudian dan inti kerak tersebut menjadi lebih besar. Pengaruh lain dari laju alir adalah dalam hal jumlah impuritas yang diangkut selama fluida mengalir. Bila laju alir semakin besar maka impuritas yang diangkut akan semakin besar pula sehingga mempunyai relevansi terhadap kemungkinan peningkatan jumlah kerak yang terjadi. Pada sisi lain ada kemungkinan laju alir akan mengurangi waktu reaksi antara ion kalsium dengan ion sulfat (Sousa dan Bertran, 2014).

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

http://lib.unimus.ac.id

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

2.2. Faktor Pembentukan Kerak

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

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 yang ikut terproduksi bersama-sama dengan minyak dan gas (Air formasi) mempunyai derajat keasaman (pH) besar akan mempercepat terbentuknya endapan kerak.

http://lib.unimus.ac.id

- Pengendapan kerak akan meningkat dengan lamanya waktu kontak dan ini akan mengarah pada pembentukan kerak yang lebih padat dan keras.

2.3. 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 pengerakan terutama, dalam transport baik gas dan partikulat spesies. Sedimentasi memiliki arti penting dalam pengerakan 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

http://lib.unimus.ac.id

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).

2.4. 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 ($CaSO_4.2H_2O$), 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. Secara umum kerak dibedakan menjadi kerak Sulfat serta campuran dari keduanya. Sedangkan berdasarkan jenis pengendapannya, klasifikasi kerak dapat dilihat pada **Tabel 2.2** (Siswoyo dan Erna, 2005).

Tabel 2.1. Jenis Komponen Endapan Kerak.

Chemical name	Chemical formula	Mineral name
Water soluble scale - Nantrium chloride	NaCl	Halite

http://lib.unimus.ac.id

Acid soluble scale - Calcium carbonat - Iron carbonat - Iron sulfide - Iron oxide - Iron oxide - Magnesium hydroxide	 $CaCO_3$ $FeCO_3$ FeS_7 Fe_2O_3 Fe_2O_4 $Mg(OH)_2$	 Calcite Siderite Trolite Hematite Magnetit Brucite
Acid insoluble scale - Calcium sulfate - Calcium sulfate	 $CaSO_4$ $CaSO_4.2H_2O$	 Anhydrate Gypsum

Tabel 2.2. Klafikasi Pengedapan Kerak

Jenis	Sifaf 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 $2H_2O$	$BaCl_2$ + Na $SO_4 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2H_2O$ $SrCl_2 + CaSO_4 \rightarrow$ $SrSO_4\downarrow$ $CaCl_2$
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_2CaSO_4 $2H_2O$ FeS dan S	Ca $(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow +$ $CO_3 + H_2O$
Misc	Tidak mudah larut dalam asam mengandung H_2S berwarna coklat tua	feS, Fe_2O_3,H_2O,S	$Fe + H_2S \rightarrow$ $FeS\downarrow$ + $HFe_2O_3 + 3H_2S \rightarrow$ $2FeS\downarrow$

http://lib.unimus.ac.id

	sampai hitam		

D

D

D

adari 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 dilapangan.

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	$CaSO_4$. 2 H_2O $CaSO_4$. $^1/_2H_2O$ $CaSO_4$	• Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Barium sulfate Strontium sulfate	$BaSO_4$ S_rSO_4	• Perubahanm tekan dan temperatur • Kandungan garam terlarut
Komponen besi	FeCO3	Korosi

http://lib.unimus.ac.id

Besi Sulfat Sulfide besi Ferrous hydroxide Rerric hydroxide	FeS Fe(OH)2 Fe(OH)2 Fe2O3	Kandungan gas terlarut Derajat keasaman (pH)

2.5. 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	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$
2.	*Tetragonal*	• Sederhana • Berpusat Badan	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$
3.	*Ortorombik*	• Sederhana • Berpusat badan • Berpusat muka • Berpusat muka A, B, atau C	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$
4.	*Monoklin*	• Sederhana Berpusat muka C	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90°, \beta \neq 90°$
5.	*Triklin*	• Sederhana	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

http://lib.unimus.ac.id

6.	*Rombohedral* atau *Trigonal*	• Sederhana	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$
7.	*Heksagonal*	• Sederhana	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$
Total	7 Sistem Kristal	14 Kisi Bravais		

2.6. Kerak kalsium sulfate 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 :

$Ca^{2+} + SO_4^{-2} \rightarrow CaSO_4$ .....(2-1)

$Ca^{2+} + 2(HSO_4^-) \rightarrow CaSO_4 + SO_2 + H_2O$.....(2-2)

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

$Ca^{2+} + CO_3^{-2} \rightarrow CaCO_3$ .....(2-1)

$Ca^{2+} + 2(HCO_3^-) \rightarrow CaCO_3 + CO_2 + H_2O$.....(2-2)

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 (Antony dkk, 2011).

2.7. Pengaruh Temperatur Terhadap Pembentukan Kerak

http://lib.unimus.ac.id

Kelarutan pada 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 kerakpada formasi sumur-sumur injeksi yang mempunyai tekanan dasar sumur yang cukup tinggi, serta kerak yang terjadi pada dinding tabung alat pemanas.

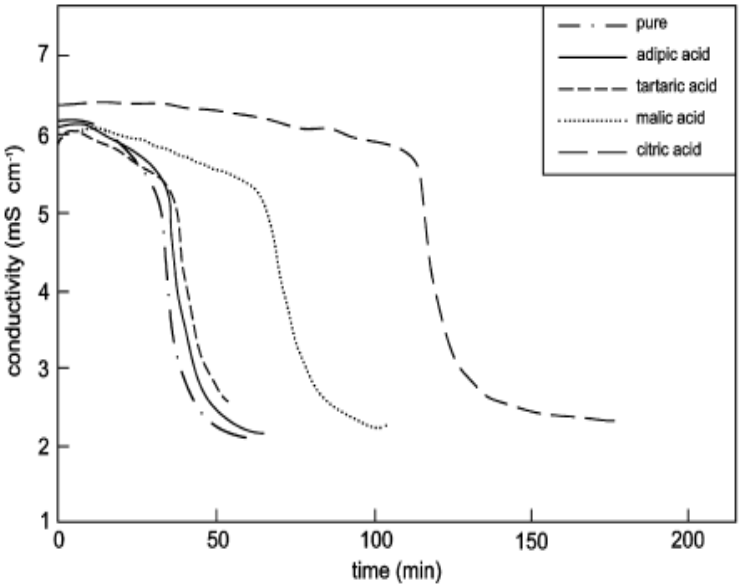
2.8. Waktu induksi

Waktu induksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh ion dalam larutan untuk bereaksi sehingga membentuk inti kristal yang pertama kali (isopecus dkk, 2009). Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal terbentuk, sebaliknya bila semakin besar berarti semakin lama inti kristal terbentuk. Inti kristal selanjutnya menjadi pusat-pusat pertumbuhan kerak sehingga semakin banyak inti yang terjadi akan semakin banyak jumlah kerak yang terbentuk. Ini berarti bahwa bila waktu induksi kecil maka jumlah kerak yang terbentuk akan semakin banyak (Ma'mun dkk, 2013).

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

Sebelum terjadinya pengintian pada 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 :

http://lib.unimus.ac.id



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

http://lib.unimus.ac.id

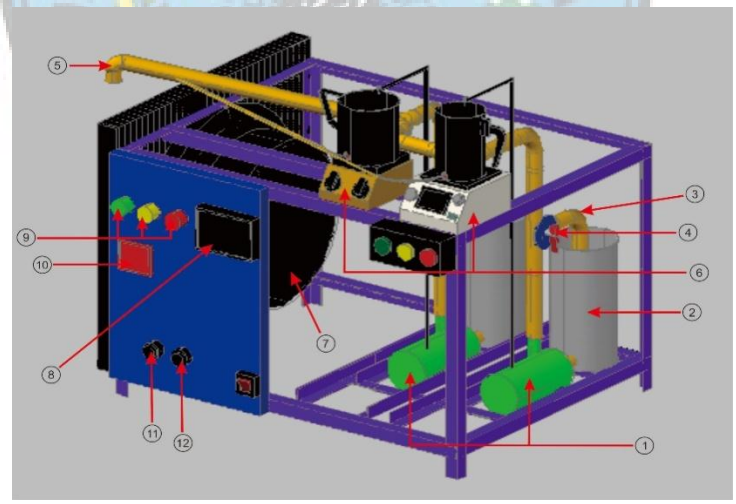
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_2SO_4 dengan kosentrasi Ca^{+2} 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2SO_4 *(Natrium Sulfate)* grade : analitik
- Larutan Na_2CO_3 dengan kosentrasi Ca^{+2} 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2CO_3 *(Natrium Carboant)* grade : analitik
- Larutan $CaCl_2$ dengan kosentrasi Ca^{+2} 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal $CaCl_2$ *(Calcium Chloride Dihydrad)* grade : analitik
- Aquades

3.2. Alat Penelitian



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

1) Pompa iwaki magnetic
2) Bak penampung
3) *Bypass*
4) Kran
5) Pipa
6) Heater
7) Kipas
8) Grafik Panel
9) LampuIndikator
10) TemperaturKontrol
11) Saklar Heater danKipas
12) Saklar Pompa

http://lib.unimus.ac.id

3.3. Deskripsi Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

Desain *Prototype Closed Circuit Scale Simulator* yang digunakan untuk mendukung kebutuhan pelaksanaan penelitian secara akurat pengambilan data. Alat uji tersebut dirangkai pada suatu rangka besi. Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator* dapat dilihat pada **Gambar 3.1.**

3.4. Bagian- Bagian Alat UJi

- **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 ditunjukan pada **Gambar 3.2**. 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 : 3.2. *Iwaki Mangnet Pump* MD-30R-220N.

- **Bak Penampung**

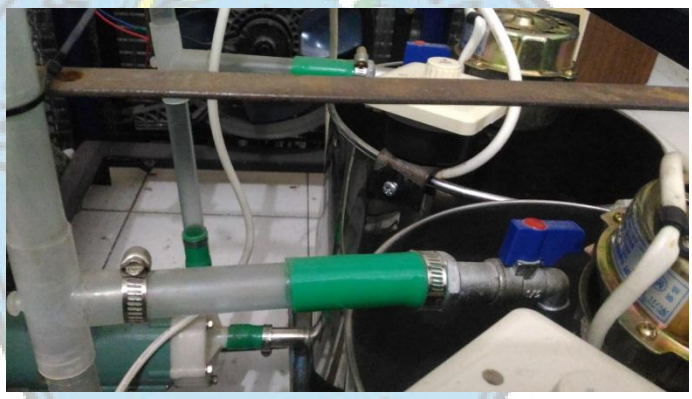
  Bak penampung digunakan untuk menampung cairan yang akan dialirkan ke pompa dan selanjutnya akan dialirkan ke kupon-kupon pengujian. Bak penampung cairan dapat dilihat pada **Gambar 3.3.**

http://lib.unimus.ac.id

Gambar 3.3. Bak Penampung.

- **Bypass**

Bypass digunakan untuk mengatur *output* aliran yang dibutuhkan cairan yang akan menuju kran dan akan di kembali lagi ke bak penampung cairan, sehingga dapat mengurangi tekanan dari pompa. Alat *bypass* ditujukan pada **Gambar 3.4.**



Gambar 3.4. *Bypass*.

- **Kran dan Heater**

Kran merupakan alat untuk menutup atau membuka aliran. Kran memang menjadi salah satu perangkat yang luput dari pengamatan. Keberadaannya yang walaupun kecil justru memiliki fungsi dan peran yang penting dalam hal yang berkaitan dengan penggunaan *fluida*. Kran berfungsi sebagai katup akhir dalam proses pendistribusian *fluida*, sedangkan *heater*s berfungsi untuk menaikan suhu cairan yang akan di alirkan pada kupon-kupon. seperti yang ditujukan pada **Gambar 3.5.**

http://lib.unimus.ac.id

Gambar 3.5. Kran dan Heater.

- **Grafik Panel**

Grafik panel digunakan untuk pembacaan dan mendukung berbagai aplikasi data. Fungsi autonik grafik panel yaitu sebagai perekam data, serta didukung oleh *true color* (16,7 juta warna), layar TFT LCD, Ethernet, port USB, dan LCD dengan layar sentuh. **Gambar 3.6.** 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
- *Resolition* : 800 x 480 *dot*
- *Color* : 16.777.216 *color*

Gambar : 3.6. *Autonics Graphic* Panel GP-SO70

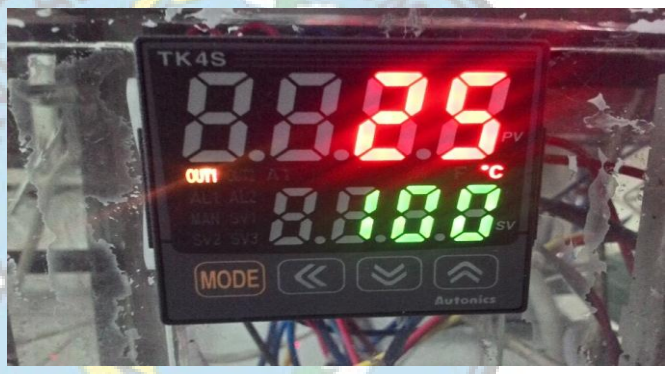
- **Temperature Controller**

Temperature Controller adalah proses di mana perubahan suhu ruang dapat terdeteksi dan bagian dari energi panas yang ke dalam atau

http://lib.unimus.ac.id

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 yang diinginkan. Seperti yang ditunjukan pada **Gambar 3.7.** *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* : *Thermocople*
- *Control type* : *Heating. Cooling*
- *Option input* : Digital *input*



Gambar : 3.7. Digital *Temperature Controller* TK 4S

- **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 beroprasi, dan lampu hijau akan menyala jika kipas pendingin sedang beroprasi. Dapat dilihat pada **Gambar 3.8.**

http://lib.unimus.ac.id

Gambar 3.8. Lampu Indikator

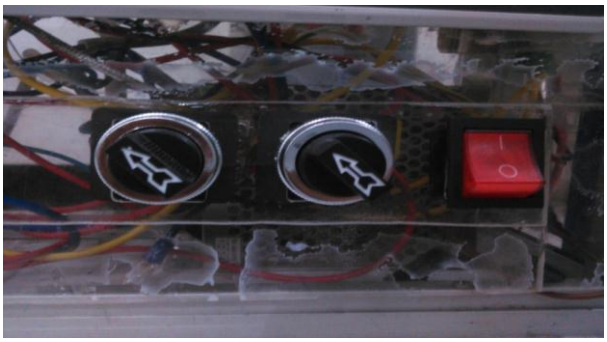
- **Power Supply**

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 3.9.**

Gambar : 3.9. *Power Supply*

- **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 3.10.**

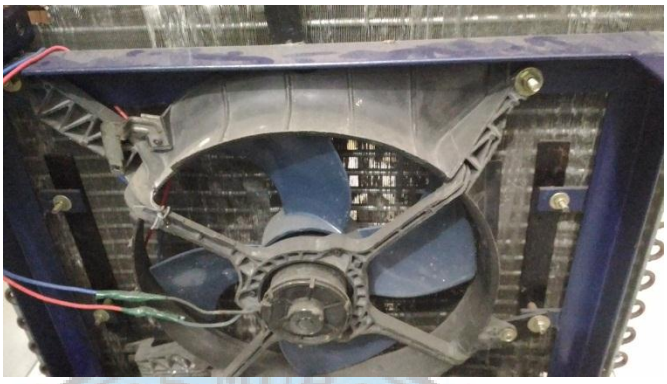


http://lib.unimus.ac.id

Gambar 3.10. Saklar.

- **Kipas**

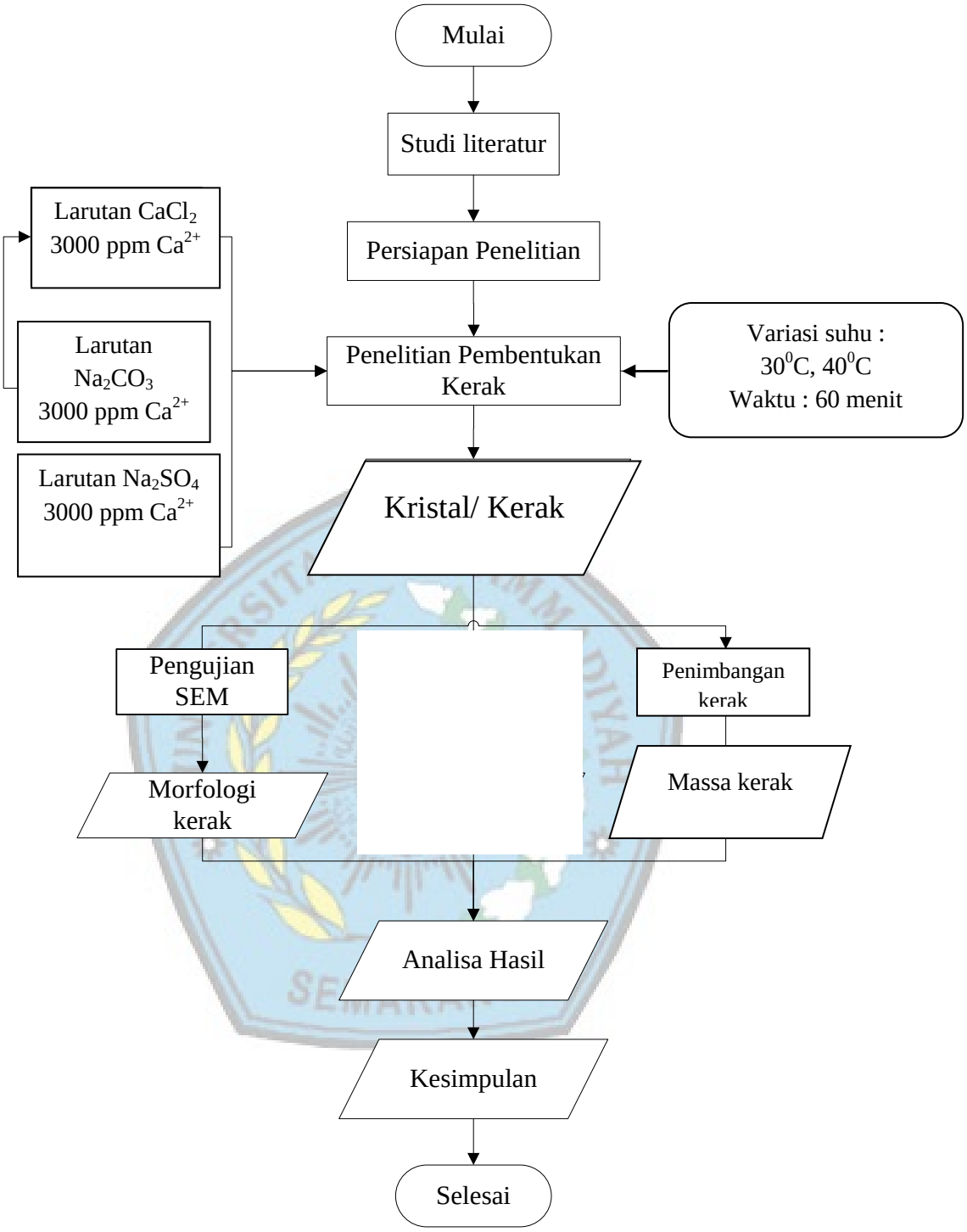
Kipas yang terdapat pada alat uji berfungsi sebagai pendingin, dapat di lihat **Gambar 3.11.**



Gambar 3.11. Kipas

3.5. Diagram Alir Penelitian

http://lib.unimus.ac.id



Gambar 3.12. Diagram Alir Penelitian

3.6. Langkah Penelitian

http://lib.unimus.ac.id

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

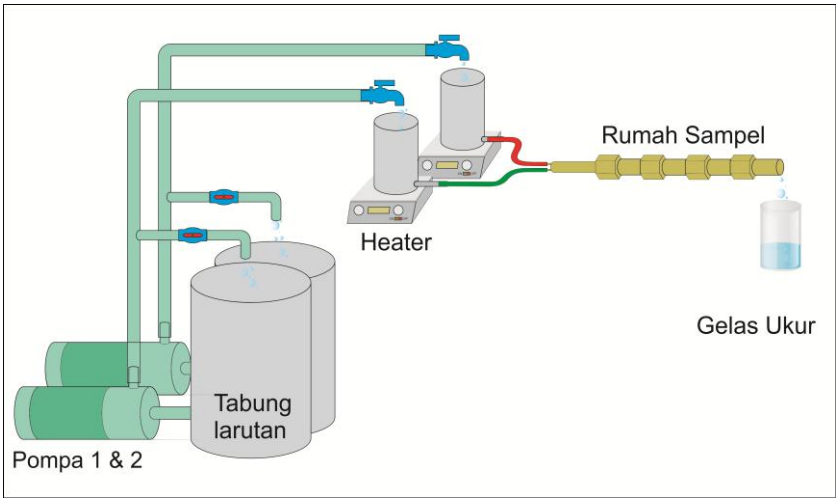
3.6.1. Alat Eksperimen Pembentukan kerak

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. Kegunaan 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 digunakan untuk memompa larutan $CaCl_2$ dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_2SO_3 dan larutan Na_2CO_3 dari bejana 2 ke bejana 4. Permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 dijaga agar keduanya mempunyai ketinggian yang sama dan dapat diatur naik atau turun guna mendapatkan perbedaan ketinggian permukaan dengan pengeluaran akhir dari rumah kupon sehingga dapat digunakan untuk mengatur laju aliran.

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

Skema Alat *Prototype Closed Circuit Scale Simulator*

http://lib.unimus.ac.id



Gambar : 3.13. Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

3.6.2. Pengujian Alat

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

3.6.3. Pembuatan Larutan $CaCl_2$, Na_2CO_3, Na_2SO_4

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

$$CaCl_2 + Na_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4 + 2\ NaCl$$

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + 2NaCl$$

Untuk membuat larutan $CaCl_2$ dengan Na_2SO_4 dan Na_2CO_3 pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 3000 ppm Ca^{2+} dengan laju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 3000 ppm Ca^{2+}.

http://lib.unimus.ac.id

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 $CaCl_2$ 3000 ppm Ca^{2+} = 5000 ml

Volume larutan Na_2SO_4 3000 ppm Ca^{2+} = 5000 ml

Volume larutan Na_2CO_3 3000 ppm Ca^{2+} = 5000 ml

Setiap percobaan ada sisa larutan masing - masing pada setiap tabung 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

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

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

3000 mg/litert x 5 lt = 15.000 mg = 15 gram

$CaCl_2$ yang dibutuhkan (110,98 / 40) x 15 gram = 41,6175 gram

http://lib.unimus.ac.id

Berat atom (BA) Ca = 40 maka 41,6175 / 111 = 0,37493 mol

Karena equimolar maka kristal Na_2SO_4 yang dibutuhkan adalah

0,37493 x 142,01 = 53,24381 gram

Untuk kristal Na_2CO_3 yang dibutuhkan adalah

0,37493 x 105,99 = 39,7388307 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 tesebut. Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam pembuatan larutan adalah *aquades*, kristal $CaCl_2$. kristal Na_2SO_4, kristal $CaCO_3$, 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 adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal $CaCl_2$. kedalam bejana kemudian diaduk dan dilanjutkan lagi dengan memasukkan aquades kedalam bejana hingga volumenya mencapai lima liter dan diaduk lagi sampai merata. Setelah larutan tercampur merata maka dilakukan penyaringan dengan kertas saring 0,22 µm. Sebelum digunakan larutan disimpan dalam bejana tertutup agar terhindar dari debu.

3.6.4. Persiapan Pipa Uji

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

http://lib.unimus.ac.id

Gambar 3.14. Kupon/Sampel.

Jumlah kupon ada lima 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 terakhir dibilas dengan aquades. Setelah itu dikeringkan memakai hairdryer, dengan demikian kupon siap dipasang pada rumah kupon.

3.7. Pengambilan Data

Pengambilan data (percobaan) dilakukan dengan variasi suhu (30^0C, 40^0C). 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, larutan yang keluar dari kupon ditampung pada bejana kecil yang terbuat dari plastik dan segera mungkin elektroda conductivity meter dimasukkan.

Conductivity meter akan mengukur nilai konduktivitas larutan (pembacaan digital mulai berjalan dari nol kemudian naik sampai akhirnya

http://lib.unimus.ac.id

berhenti). Angka yang terakhir inilah yang dicatat, dan seterusnya dilakukan berulang-ulang setiap dua menit. Setelah empat jam, pompa dihentikan dan saluran menuju kupon dilepas. Satu jam kemudian kupon diambil dari rumah kupon dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama dua belas jam. Penimbangan massa kerak dilakukan pada waktu kerak masih menempel pada kupon. Selanjutnya selisih massa kupon dengan kerak dikurangi massa kupon tanpa kerak adalah massa kerak itu sendiri.

3.8. Pengujian SEM

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

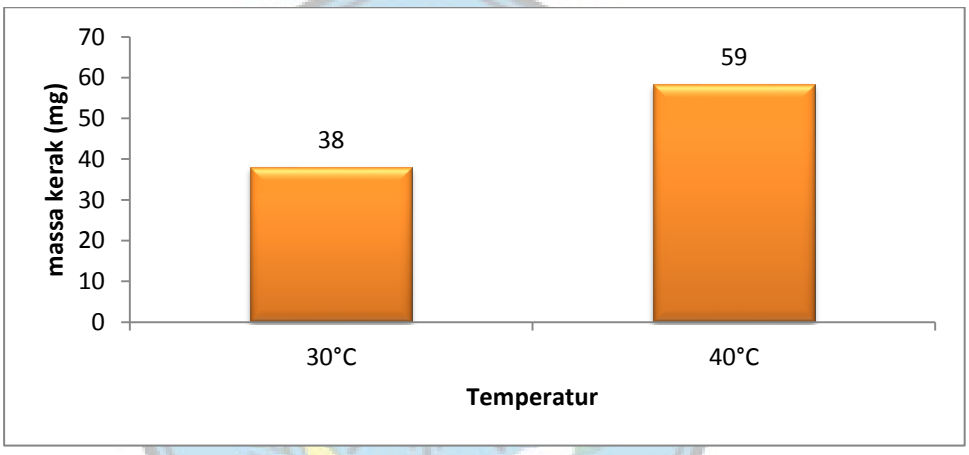
Langkah berikutnya spesimen dimasukkan ke dalam SEM sesuai dengan nomor identifikasi pengambilan fokus. Selanjutnya dilakukan penghisapan udara pada alat tersebut. Kemudian dilakukan pengambilan gambar, pengaturan resolusi dan ukuran pembesaran dikendalikan melalui *software* yang secara langsung terbaca 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 pengujian SEM sehingga tidak perlu melepas atau memindahkan spesimen, dengan mengambil luasan tertentu yang akan dilakukan analisa instrument hanya memerlukan waktu yang cukup lama untuk mengetahui komposisi kristal baik dalam prosentase berat maupun atom.

http://lib.unimus.ac.id

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh Suhu Terhadap Massa Kerak $CaSO_4$ dan $CaCO_3$

Penelitian 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 30^0C, 40^0C. Hasil variasi suhu tersebut kemudian dilakukan penimbangan. Pengaruh suhu terhadap massa kerak ditunjukan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik hubungan suhu terhadap massa kerak (mg).

Pada Gambar 4.1, menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu membuat kerak yang terbentuk semakin banyak. Ini menunjukkan pada kondisi suhu tinggi, reaksi antara reaktan $CaCl_2$, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 berjalan lebih cepat dibanding pada kondisi suhu rendah. Semakin tinggi suhu dalam suatu reaksi akan memberikan tekanan yang kuat, tumbukan antara molekul reaktan $CaCl_2$ dan Na_2SO_4, Na_2CO_3 akan semakin banyak, sehingga kecepatan reaksi akan menigkat dan jumlah kerak yang terbentuk semakin banyak. Prosentase selisih massa kerak pada suhu 30ºC dan 40ºC dapat dihitung dengan cara sebagai beikut :

http://lib.unimus.ac.id

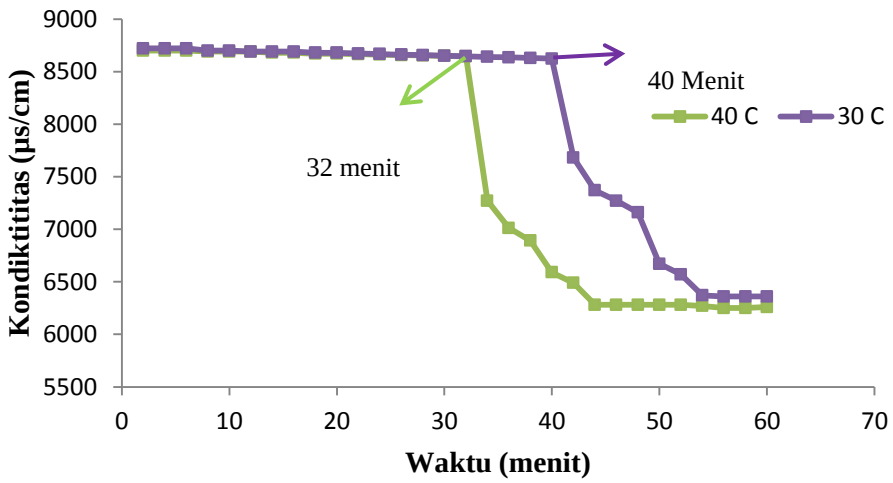
59 mg – 38 mg = 21 mg

$$\frac{21\ mg}{59\ mg} \text{ x } 100\% = 35{,}59\%$$

Jadi prosentase peningkatan masa kerak dari suhu 30ºC ke 40ºC mengalami peningkatan sekitar 35,59%.

4.2. Analisa Waktu Induksi

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh senyawa kalsium sulfat untuk membentuk inti kristal pertama kali. Waktu induksi ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion kalsium telah bereaksi dengan ion karbonan dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk suhu 30^0C, 40^0C seperti yang terlihat pada Gambar 4.2. grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.



Gambar 4.2 Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu.

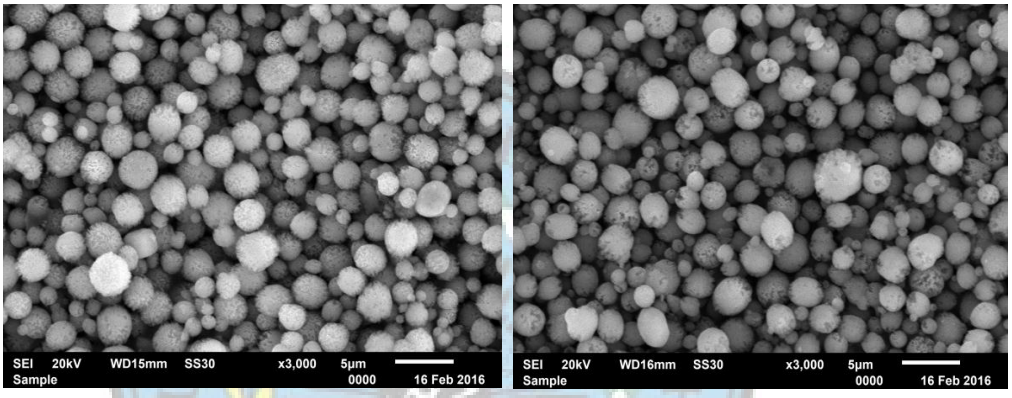
Gambar 4.2 merupakan grafik hubungan antara konduktivitas larutan dengan waktu penelitian pada variasi temperatur. Pada Gambar 4.2 menunjukan waktu induksi pada temperature 40^0C yaitu 32 menit lebih cepat dibandingkan pada temperature 30^0C yaitu (40 menit). Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur, tumbukan antara ion Ca^{2+}, CO_3^{2-} dan SO_4^{-2} akan semakin meningkat sehingga kerak yang terbentuk semakin banyak. Akibat

http://lib.unimus.ac.id

tumbukan, jumlah ion ion menjadi berkurang, sehingga konduktivitasnya menjadi semakin berkurang (Muryanto dkk, 2014).

4.3. Pengujian SEM

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



(a) **(b)**

Gambar 4.3. Morfologi kerak kalsium karbonat dan kalsium Sulfat hasil percobaan (a) 30^0C (b) 40^0C.

Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.3 dengan perbesaran 3000 kali. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan mengunakan konsentrasi larutan $CaSO_4$ 3000 ppm dengan variasi temperature. Gambar (a) merupakan bentuk morfologi kerak hasil uji kristalisasi temperature 30^0C. Pada gambar tersebut terlihat bahwa jenis kristal, $CaCO_3$ berbentuk granul bulatan (rombohedral) dan $CaSO_4$ berbentuk lempengan (gypsum). Gambar (b) merupakan hasil uji kristalisasi dengan temperatur 40^0C gambar tersebut terlihat bahwa bentuk kristal semakin besar dan saling melekat satu sama lain.

Dari kedua hasil uji SEM tersebut menandakan bahwa semakin besar temperature makan semakin banyak fasa calsit ($CaCO_3$) yang terbentuk. Hal ini ditunjukan pada gambar hasil SEM semakin rapat dan besar besar bentuk granul bulatan. Apabila kristal ini terbentuk dan mengendap di dalam pipa maka akan menghasilkan kerak yang sulit untuk dibersihkan dari suatu sistem

http://lib.unimus.ac.id

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

http://lib.unimus.ac.id

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

1. Semakin tinggi suhu, maka kerak yang terbentuk akan semakin banyak. Hal ini disebabkan semakin tinggi suhu membuat nilai tetapan laju reaksi meningkat.
2. Dari hasil SEM semakin besar temperature maka semakin banyak fasa calsit ($CaCO_3$) yang terbentuk. Hal ini ditunjukan pada gambar hasil SEM semakin rapat dan besar besar bentuk granul bulatan dibandingkan bentuk plat lempengan.

5.2. Saran

a. 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 phospat, asam kromat, dll atau dengan ion Mg, Cu, dll) , dengan jenis aliran turbulen, dll.

b. Penelitian untuk jenis kerak yang lain (seperti kerak barium sulfat, strontium sulfat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

http://lib.unimus.ac.id

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). *Scala formation and control in high pressure membrane water treatment systems*:A review. Journal of Membrane Science, 383, 1-16.

Asnawati., (2001). *Pengaruh temperatur terhadap reaksi fosfonat dalam inhibitor kerak pada sumur minyak.* Jurnal Ilmu Dasar, Vol.2. No.1, Hal.20-26.

Han, Y. S., Hadiko, G., Fuji, M., & Takahashi, M. (2005). *Effect of flow rate and CO^2 content on the phase and morphology of $CaCO_3$ prepared by bubbling method*. Journal of Crystal Growth, 276(3), 541-548.

Isopescu, R., Mateescu, C., Mihai, M., Dabija, G. (2010). *The effects of organic additives on induction time and characteristics of precipitated calcium carbonate.* Chemical Engineering Research and Design,88, 1450-1454.

Kiaei, Z., Haghtalab, A. (2014). *Experimental study of using Ca-DTPMP nanoparticles in inhibition of $CaSO_4$ scaling in a bulk water process*,Desalination,33, 84-92.

Martos, C., Coto, B., Pena, J., L., Rodriguez, R., Merino-Garcia, D., Pastor, G. (2010), *Effect of Precipitation and detection technique on particle size distribution of $CaCO_3$,* Elsevier B.V.

Ma'mun, H., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2013). *Pembentukan kerak kalsium Sulfat ($caco_3$) di dalam pipa beraliran laminer pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif asam malat*. InProsiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik(Vol. 1, No. 1).

Ratna, P., S. (2011), *Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau*, Fakultas Teknik UI, Depok.

http://lib.unimus.ac.id

Sediono, W., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2011). *Eksperimen Pembentukan Kerak Gipsum Dengan Konsentrasi Ca2+: 3500 Ppm Dan Aditif* Fe^{2+}. Momentum, 7(2).

Sousa, M.F., Bertran, C.A. (2014). *New methodology based on static light scattering measurements for evaluation of inhibitors for in bulk crystallization.*Journal of Colloid and Interface Science. Pp.57-64.

Singh, N.B., Middendorf, B. (2007), *Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization*, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 53, 57 -77.

Siswoyo, Erna, K. (2005), *Identifikasi Pembentukan Scale*, Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta.

Samsudi Raharjo., S. Muryanto., J. Jamari., AP. Bayuseno, (2016). *Model dan optimasi variable 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* $CaCO_3$ *pada pipa beraliran laminer*, Matech web conference.

http://lib.unimus.ac.id

LAMPIRAN

1. **Pengaruh laju alir terhadap massa kerak.**

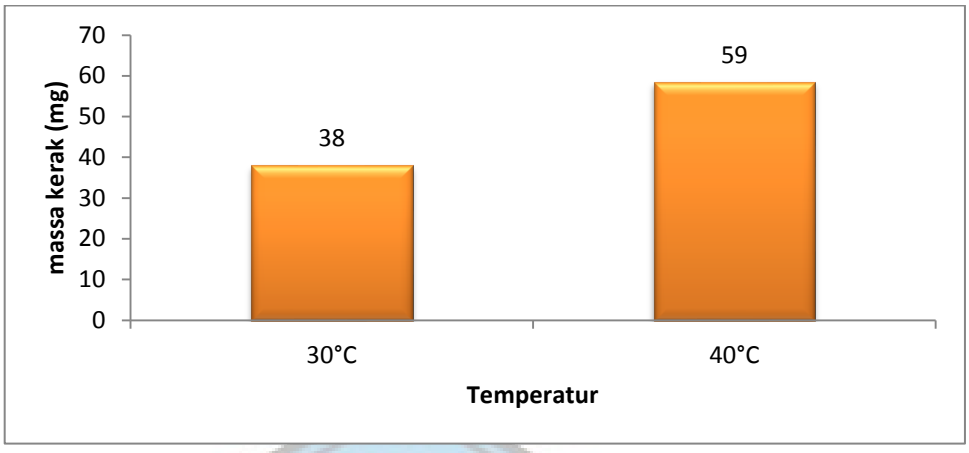
Suhu	Massa kerak (mg)
30^0C	38
40^0C	59

2. **Data hubungan waktu terhadap konduktivitas.**

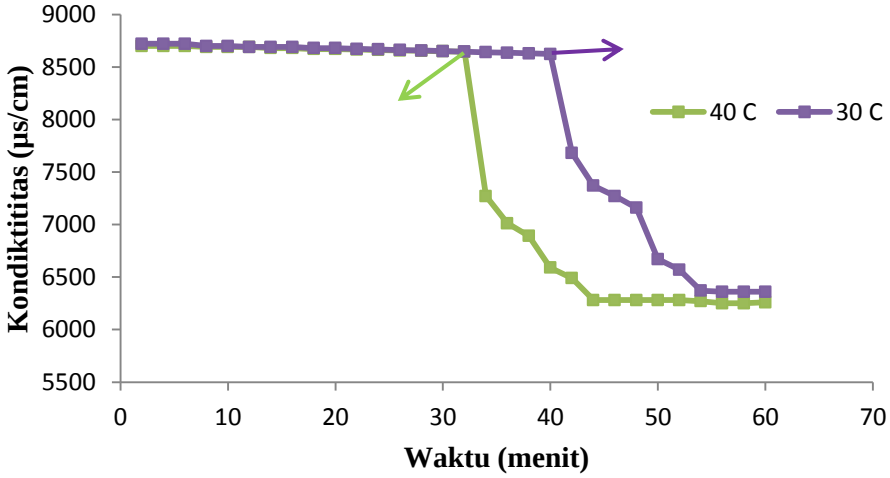
Waktu	30^0C	40^0C
2	8720	8700
4	8720	8700
6	8720	8700
8	8700	8690
10	8700	8690
12	8690	8690
14	8690	8680
16	8690	8680
18	8680	8670
20	8680	8670
22	8672	8665
24	8667	8661
26	8662	8657
28	8656	8653
30	8651	8649
32	8645	8645
34	8640	7270
36	8635	7012
38	8629	6892
40	8624	6590
42	7680	6490
44	7370	6280
46	7270	6280
48	7160	6280
50	6670	6280
52	6570	6280
54	6370	6270
56	6360	6250
58	6360	6250
60	6360	6260

http://lib.unimus.ac.id

3. **Grafik hubungan suhu terhadap massa kerak (mg).**



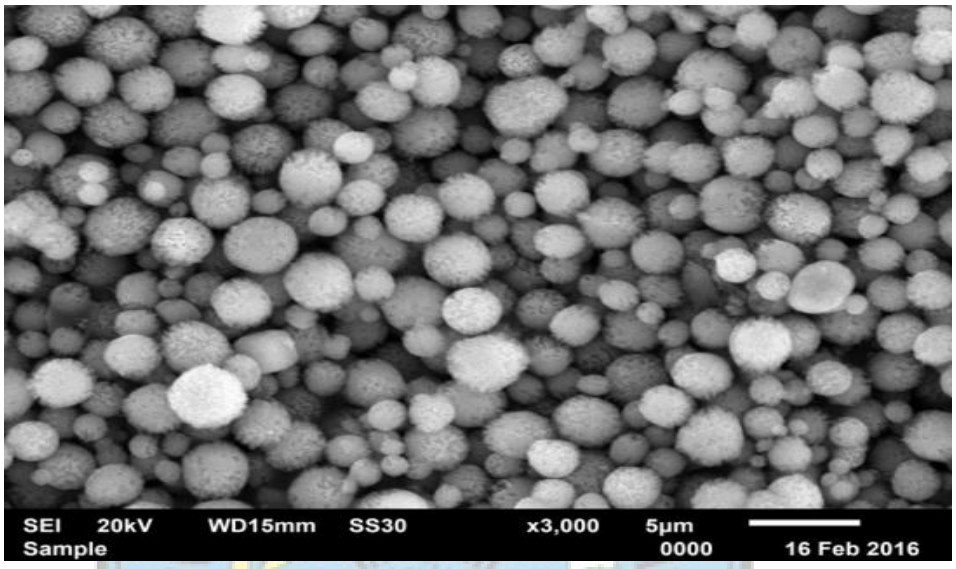
4. **Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu.**



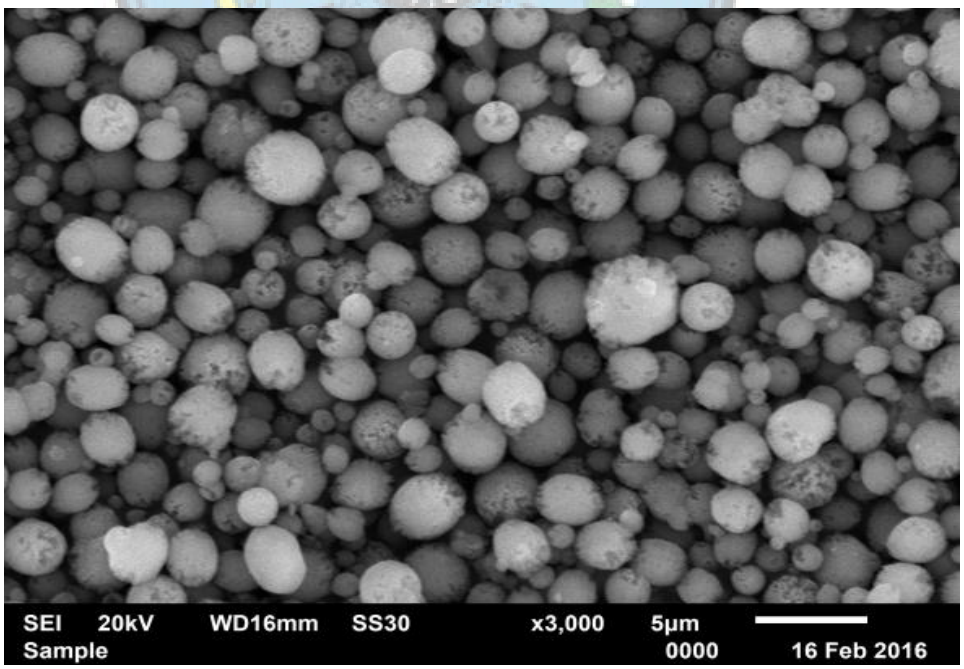
http://lib.unimus.ac.id

5. Hasil SEM

1. Suhu 30^0C



2. Suhu 40^0C



http://lib.unimus.ac.id