



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KINETIKA PRESIPITASI CaCO_3
DARI LARUTAN Na_2CO_3 DAN CaCl_2**

SKRIPSI

RINA DWI SUSANTI

0606043225

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KINETIKA PRESIPITASI CaCO_3
DARI LARUTAN Na_2CO_3 DAN CaCl_2**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

RINA DWI SUSANTI

0606043225

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Rina Dwi Susanti

NPM : 0606043225

Tanda Tangan :

Tanggal : 23 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rina Dwi Susanti

NPM : 0606043225

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : "Studi Kinetika Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2 "

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT ()

Penguji : Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA ()

Penguji : Ir. Eva Fathul Karamah, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 23 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dengan judul “Studi Kinetika Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2 ” disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Nelson Saksono, MT selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Ir. Setiadi, M.Eng selaku koordinator mata kuliah skripsi.
4. Keluargaku yang sangat penulis kasihi, Ibu, Bapak, Kakak, dan Adikku serta Yudha Siswanny "*dazh*" yang selalu memberikan dukungan berupa kasih sayang, semangat, perhatian maupun doa.
5. Seluruh pengajar dan civitas Teknik Kimia FTUI yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.
6. Semua pihak lain yang belum disebutkan, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu penulis.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Walaupun masih mempunyai banyak sekali kekurangan, mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat.

Depok, 23 Desember 2008

Rina Dwi Susanti

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Rina Dwi Susanti
NPM : 0606043225
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

STUDI KINETIKA PRESIPITASI CaCO_3 DARI LARUTAN Na_2CO_3 DAN CaCl_2

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatean, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 23 Desember 2008

Yang menyatakan,

(Rina Dwi Susanti)

ABSTRAK

Nama : Rina Dwi Susanti
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Studi Kinetika Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2

Antiscale magnetic treatment (AMT) merupakan salah satu metode yang berpotensi dikembangkan untuk mencegah terbentuknya kerak. Untuk itu, perlu adanya pengembangan dengan mengaplikasikan kedalam suatu model kinetika empiris. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan model kinetika empiris dan parameter kinetiknya yaitu energi aktivasi (E_a) dan konstanta laju reaksi (k) yang berpengaruh terhadap penekanan laju presipitasi CaCO_3 . Model persamaan kinetika yang digunakan adalah persamaan sigmoidal. Beberapa variasi kondisi operasi meliputi yaitu kuat medan magnet, waktu magnetisasi, laju alir sirkulasi, suhu, konsentrasi larutan dan panjang magnet. Pengukuran dilakukan pada sampel termagnetisasi dan non-magnetisasi selama 120 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dalam fluida statik, nilai energi aktivasi untuk sampel termagnetisasi lebih besar dibandingkan dengan sampel non-magnetisasi, sedangkan fluida dinamik nilai energi aktivasi untuk sampel termagnetisasi lebih kecil dibandingkan dengan sampel non-magnetisasi. Sampel termagnetisasi memiliki harga k lebih rendah dibanding sampel non-magnetisasi yang menunjukkan bahwa medan magnet menekan laju presipitasi CaCO_3 . Nilai koefisien korelasi (R^2) diperoleh mendekati satu sehingga model persamaan sigmoidal dapat dikatakan cukup baik dalam mengolah data tersebut untuk memperoleh parameter kinetika.

Kata kunci :
Persamaan sigmoidal, energi aktivasi, konstanta laju reaksi, sistem fluida statik dan dinamik.

ABSTRACT

Name : Rina Dwi Susanti
Study Program: Teknik Kimia
Title : Kinetics Studies On CaCO_3 Precipitation From Na_2CO_3 And CaCl_2 Solutions

One of method which is potential to be developed to prevent the formation of scale is Antiscale magnetic treatment (AMT). So this need application an empirical kinetics model to developed. The aim of this study is to obtain kinetic empirical method for determination of precipitated CaCO_3 formation. Activation energy and rate of reaction constant have the effects to inhibit the formation of CaCO_3 . The model is sigmoidal equation. This research used the strength of magnetic field, time of magnetised, circulation flow, temperature, solution concentration and magnet length as the variables condition. It showed that the value of activation energy static fluid for magnetized sample was bigger than non-magnetized sample and dinamic fluid showed the opposite that non-magnetized is bigger than magnetized. The value of k magnetized sample is lower than non-magnetized sample and the result was magnetic field is inhibition the rate of CaCO_3 precipitation. Coefficient correlation value produce approximately one, so this sigmoidal equation has capability to cultivate that data for obtaining kinetics model.

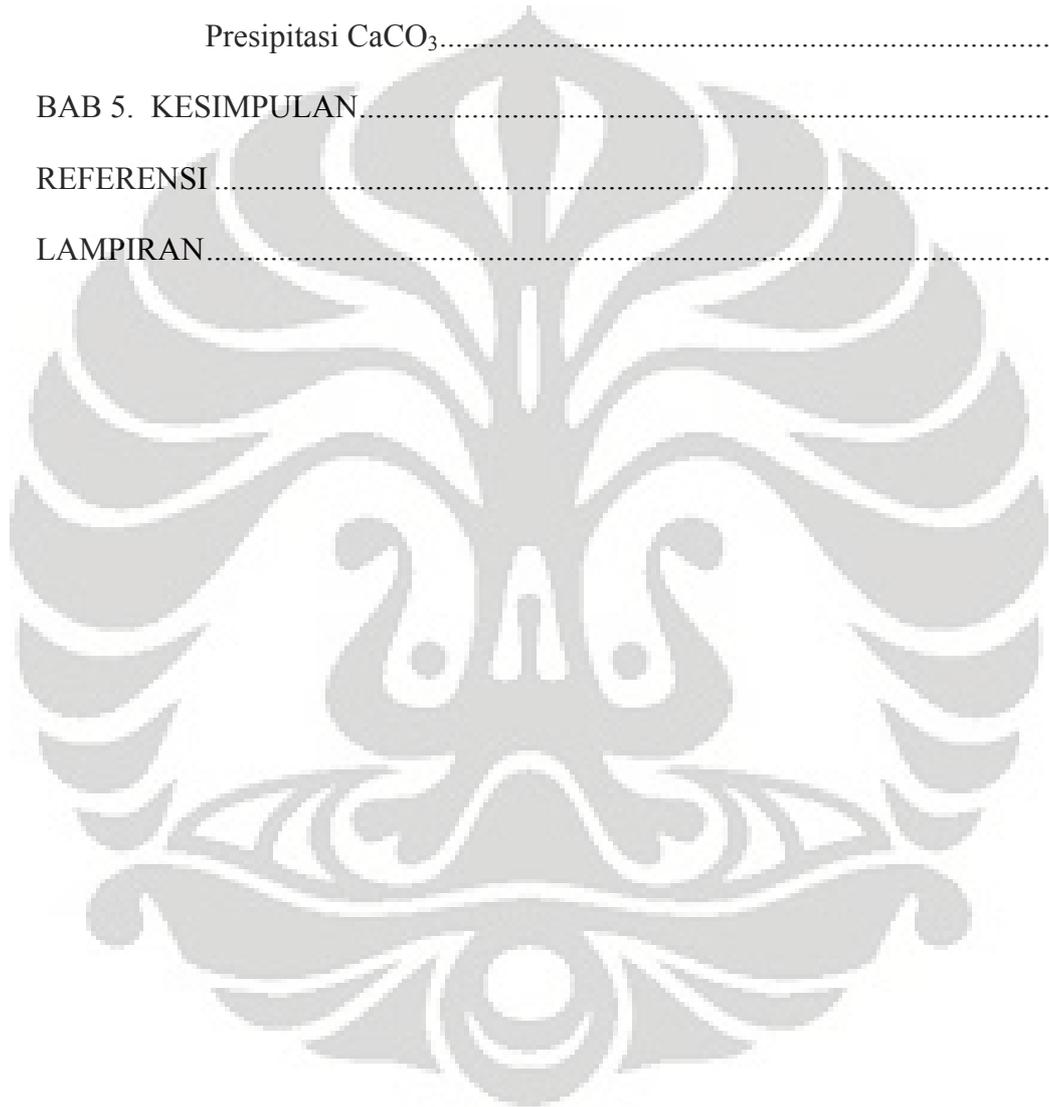
Keyword :
Sigmoidal equation, activation energy, rate of reaction constant, static fluid system, and dinamik fluid system.

DAFTAR ISI

	Hlm
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Sadah	5
2.2 Mekanisme Presipitasi CaCO_3	7
2.2.1 Mekanisme Presipitasi Dan Terbentuknya Kristal CaCO_3 Dalam Larutan	7
2.2.2 Mekanisme Presipitasi Dan Terbentuknya Kristal CaCO_3 Pada Deposit	10
2.2.3 Pembentukan Jenis Kristal CaCO_3	10
2.3 Mekanisme Pembentukan Partikel CaCO_3 Dalam Medan Magnet	11
2.3.1 Sistem Fluida Statik Dan Dinamik	12
2.3.2 Mekanisme Ion Pada Presipitasi CaCO_3	13
2.4 Pengaruh Suhu Larutan.....	16
2.5 Pengaruh Lamanya Sirkulasi	17

2.6 Pengaruh Laju Alir.....	18
2.7 Persamaan Kinetika Empiris Laju Reaksi.....	20
2.3.1 Energi Aktivasi dan Konstanta Laju Reaksi	21
BAB 3. METODE PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Prosedur Penelitian	26
3.2.1 Analisis Presipitasi CaCO₃ Dengan Titrasi Kompleksimetri EDTA.	26
3.2.2 Peralatan Magnetisasi Sistem Sirkulasi.....	28
3.2.3 Peralatan Magnetisasi Sistem Statik.....	29
3.3 Model Persamaan Presipitasi CaCO ₃	29
3.4 Simulasi Model Persamaan Laju Presipitasi CaCO ₃	30
3.4.1 Regresi data variabel proses dari model persamaan empiris yang dihasilkan.....	31
3.4.2 Perhitungan larutan CaCO ₃ Magnet dan non magnet.....	31
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Model Persamaan Kinetika Empiris	33
4.2 Kinetika Presipitasi CaCO ₃ Dari Larutan Na ₂ CO ₃ Dan CaCl ₂ Termagnetisasi Sistem Fluida Statik	34
4.2.1 Perhitungan Parameter Kinetik.....	34
4.2.2 Pengaruh Kuat Medan Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO ₃	40
4.2.3 Pengaruh Waktu Magnetisasi Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO ₃	41
4.2.4 Pengaruh Kosentrasi Larutan Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO ₃	42
4.3 Kinetika Presipitasi CaCO ₃ Dari Larutan Na ₂ CO ₃ Dan CaCl ₂ Termagnetisasi Sistem Fluida Dinamik	44
4.3.1 Perhitungan Parameter Kinetik	45

4.3.2 Pengaruh Laju Alir Sirkulasi Terhadap Konstanta Laju (k)	
Presipitasi CaCO_3	49
4.3.3 Pengaruh Waktu Sirkulasi Terhadap Konstanta Laju (k)	
Presipitasi CaCO_3	51
4.3.4 Pengaruh Panjang Magnet Terhadap Konstanta Laju (k)	
Presipitasi CaCO_3	52
BAB 5. KESIMPULAN.....	55
REFERENSI.....	57
LAMPIRAN.....	61



DAFTAR GAMBAR

	Hlm
Gambar 2.1 Orientasi molekul air terhadap ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} pada air sadah	5
Gambar 2.2 a) Kurva Log IAP b) Kurva persen komposisi Kristal	8
Gambar 2.2 c) Persen pembentukan pearlite pada proses transformasi Isotermal	9
Gambar 2.3 Tahapan pembentukan kristal CaCO_3 dalam larutan pada berbagai suhu	10
Gambar 2.4 Tipe variasi absorbansi untuk suspensi partikel CaCO_3	14
Gambar 2.5 Variasi jumlah partikel (N)	14
Gambar 2.6 Variasi rata-rata ukuran partikel (D_{av})	15
Gambar 2.7 Grafik Tingkat Absorbansi terhadap Waktu Presipitasi CaCO_3	17
Gambar 2.8 Rasio penurunan ion Ca^{2+} sesudah magnetisasi (Ca^{++}) dan sebelum magnetisasi (Ca_i^{++}) di larutan	18
Gambar 2.9 Waktu induksi t_{ind} vs laju alir pada pH awal yang berbeda	19
Gambar 2.10 Rasio presipitasi total CaCO_3 pada berbagai laju alir dan pH awal larutan	19
Gambar 2.11 Keadaan awal dan akhir pembentukan energi aktivasi dalam suatu reaksi	22
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.2 Skema Peralatan Sistem Sirkulasi Non-Magnet (A) dan Magnet (B)	28
Gambar 3.3 Peralatan Sistem Sirkulasi	28
Gambar 3.4 Skema Alat Magnetisasi sistem statik	29
Gambar 4.1 Pengaruh suhu pada presipitasi total CaCO_3 untuk sampel non-magnetisasi (NMS) dan sampel termagnetisasi (MS)	35
Gambar 4.2a Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/1-Y)$ terhadap $\ln(t)$ pada sistem statik non magnet	35
Gambar 4.2b Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/1-Y)$ terhadap $\ln(t)$ pada sistem statik magnet	36

Gambar 4.3	Grafik persamaan linier $\ln k$ terhadap $1/RT$ pada sampel non-magnetisasi dan sampel termagnetisasi	37
Gambar 4.4	Grafik fraksi CaCO_3 terbentuk (Y) hasil perhitungan dan data percobaan untuk sampel NMS dan sampel MS.....	39
Gambar 4.5	Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi kuat medan pada waktu presipitasi CaCO_3	40
Gambar 4.6	Persen presipitasi total CaCO_3 pada berbagai waktu magnetisasi CaCO_3	41
Gambar 4.7	Pengaruh konsentrasi larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 pada persen presipitasi total CaCO_3	43
Gambar 4.8	Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi suhu pada waktu presipitasi CaCO_3	45
Gambar 4.9	Grafik persamaan linier $\ln k$ terhadap $1/RT$ pada sampel non-magnetisasi dan sampel termagnetisasi	46
Gambar 4.10	Grafik fraksi CaCO_3 terbentuk (Y) hasil perhitungan dan data percobaan untuk sampel NMD) dan sampel MD	48
Gambar 4.11	Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi laju alir pada waktu presipitasi CaCO_3	49
Gambar 4.12	Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi waktu sirkulasi pada waktu presipitasi CaCO_3	51
Gambar 4.13	Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi panjang magnet pada waktu presipitasi CaCO_3	53

DAFTAR TABEL

	Hlm
Tabel 2.1 Waktu nukleasi (t_n) dan waktu pembentukan kerak (t_s) pada berbagai kecepatan alir.....	18
Tabel 4.1 Nilai tetapan laju presipitasi CaCO_3 (k), faktor frekuensi tumbukan (k_o), dan energi aktivasi pembentukan CaCO_3 (E_a)	37
Tabel 4.2 Harga tetapan laju k pada berbagai kuat medan.....	40
Tabel 4.3 Harga tetapan laju k pada berbagai waktu magnetisasi.....	42
Tabel 4.4 Harga Parameter kinetika terhadap pengaruh konsentrasi	43
Tabel 4.5 Harga tetapan laju k pada berbagai konsentrasi sampel larutan.....	43
Tabel 4.6 Nilai tetapan laju presipitasi CaCO_3 (k), faktor frekuensi tumbukan (k_o), dan Energi aktivasi pembentukan CaCO_3 (E_a) pada sistem fluida dinamik	46
Tabel 4.7 Harga Parameter kinetika terhadap pengaruh laju alir.....	50
Tabel 4.8 Harga tetapan laju k pada berbagai laju alir alir sampel larutan	50
Tabel 4.9 Harga Parameter kinetika terhadap pengaruh waktu sirkulasi.....	51
Tabel 4.10 Harga tetapan laju k pada berbagai waktu sirkulasi.....	51
Tabel 4.11 Harga tetapan laju k pada berbagai panjang magnet.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

	hlm
Lampiran A Data Kinetika Presipitasi CaCO_3 Sistem Fluida Statik	61
Lampiran B Data Kinetika Presipitasi CaCO_3 Sistem Fluida Dinamik	66



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pentingnya perawatan pada peralatan produksi menjadi fokus utama dalam berbagai industri dan rumah tangga karena akan menimbulkan permasalahan baik secara teknis maupun ekonomis apabila mengalami kerusakan sehingga harus dapat segera dilakukan penanganan secara baik dan tepat. Umumnya kerusakan yang terjadi pada peralatan tersebut akibat terbentuknya kerak dalam air sadah yang menyebabkan kerugian yang sangat besar. Karena kerak ini dapat menghambat aliran air dalam pipa sekaligus menghambat proses perpindahan panas pada peralatan penukar panas dimana kerak CaCO_3 terbentuk oleh material yang berkurang kelarutannya seiring dengan meningkatnya temperatur, biasanya terjadi pada pipa menara pendingin dan pemanas. Selain itu, air sadah juga dapat menyebabkan berkurangnya efektifitas pada proses pencucian menggunakan sabun atau deterjen.

Untuk mencegah pembentukan kerak dalam air sadah tersebut dapat dilakukan secara kimia maupun fisika. Namun metode secara kimia tersebut dapat menyebabkan perubahan sifat kimia larutan sehingga tidak aman dalam penggunaannya. Dan sekarang telah ditemukan metode alternatif menggunakan medan magnet yang merupakan salah satu metode dengan alat sederhana yang memiliki kelebihan yaitu air hasil olahan relatif aman untuk dikonsumsi manusia dan cocok untuk aplikasi pada industri kecil maupun rumah tangga serta ramah lingkungan. Metode tersebut dikenal dengan *Antiscale magnetic treatment* (AMT) dimana metode ini cukup menjanjikan. Oleh karena itu, mendorong para peneliti untuk mulai melakukan penelitian ilmiah pada tahun 1985 guna menjawab fenomena apa sesungguhnya yang terjadi pada magnetisasi air sadah (Fathi *et al.*, 2006).

Untuk dapat memahami pengaruh efektivitas AMT yaitu dengan cara mengetahui pengaruh medan magnet terhadap proses CaCO_3 . Salah satu efek penting yang diusulkan oleh beberapa peneliti adalah mengenai *mekanisme ion*

dimana magnetisasi dilakukan terhadap larutan Na_2CO_3 sebelum dicampur dengan CaCl_2 untuk proses presipitasi. Dalam air sadah terdapat ion-ion dan partikel hasil presipitasi ion-ion. Keberadaan ion-ion seperti Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam air sadah menyebabkan ion-ion tersebut akan terhidrasi oleh molekul air membentuk ion hidrat. Penelitian tentang efek medan magnet terhadap hidrat ion dan pengaruhnya terhadap presipitasi CaCO_3 baik dengan sistem fluida statik maupun sistem fluida dinamik akan memberikan pemahaman lebih baik mengenai pengaruh medan magnet pada larutan air sadah.

Proses pembentukan kerak (presipitasi CaCO_3) akan sangat ditentukan oleh kestabilan ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan air sadah, dimana medan magnet mempengaruhi interaksi molekul air dengan ion terlarut terutama ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} . Magnetisasi akan membuat ikatan antara ion-ion terlarut dengan molekul air semakin kuat. Terbentuknya *hydration shell* di sekitar ion tersebut akan membuat ion-ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} sulit bertumbukan dan dapat menekan pembentukan CaCO_3 sehingga semakin sedikit kerak yang terbentuk. Namun, pernyataan ini masih sebatas hipotesis. Untuk itu, pembuktian dan penjelasan bahwa telah terjadi penguatan ion hidrat akibat proses magnetisasi perlu dibuktikan secara ilmiah melalui suatu eksperimen dan pengolahan data kinetika yang menjelaskan bahwa medan magnet mempengaruhi interaksi hidrat ion dan presipitasi CaCO_3 .

Oleh karena itu, maka perlu adanya pengembangan aplikasi dari data-data yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya untuk menggambarkan proses presipitasi CaCO_3 yang terjadi dalam air sadah pada sistem fluida statik dan fluida dinamik dalam pengaruh medan magnet. Salah satu caranya adalah dengan mengaplikasikannya kedalam suatu model persamaan kinetika empiris dengan tujuan untuk menentukan mekanisme reaksi presipitasi CaCO_3 dan parameter kinetika seperti konstanta laju reaksi maupun energi aktivasi yang dapat terjadi dalam proses presipitasi CaCO_3 . Variabel kondisi operasi yang digunakan untuk menentukan parameter kinetik yaitu kuat medan magnet, waktu magnetisasi, laju alir sirkulasi, suhu, konsentrasi larutan dan panjang magnet. Dengan cara ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai laju presipitasi CaCO_3 dari larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 .

Universitas Indonesia

1.2. Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah menggambarkan pengaruh medan magnet terhadap parameter kinetika presipitasi CaCO_3 yang meliputi konstanta laju reaksi (k) dan energi aktivasi (E_a) dari suatu model kinetika empiris dalam sistem fluida statik maupun dinamik dibawah pengaruh medan magnet. Beberapa variabel proses yang meliputi kuat medan magnet, waktu magnetisasi, laju alir sirkulasi, suhu, konsentrasi larutan dan panjang magnet perlu diuji untuk lebih memperjelas pengaruhnya terhadap parameter kinetika presipitasi CaCO_3 yang dapat terjadi dalam larutan air sadah.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan model kinetika empiris yang dapat digunakan untuk menggambarkan presipitasi CaCO_3 sebagai fungsi waktu.
2. Mendapatkan nilai energi aktivasi dan konstanta laju reaksi dari model kinetika empiris presipitasi CaCO_3 .

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Data Percobaan yang digunakan yaitu sistem fluida statik dan sistem fluida dinamik.
2. Larutan yang digunakan Na_2CO_3 dan CaCl_2 .
3. Variabel proses yang divariasikan untuk sistem fluida statik yaitu suhu, konsentrasi, kuat medan magnet dan waktu magnetisasi, sedangkan untuk sistem fluida dinamik yaitu suhu, kecepatan alir, panjang magnet, dan waktu sirkulasi.
4. Waktu presipitasi yang dilakukan hingga 120 menit.
5. Sistem fluida statik pada penelitian ini menggunakan tabung reaksi dan untuk sistem fluida dinamik menggunakan aliran pompa sirkulasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah skripsi ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi lima bab, yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian dan penulisan, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan skripsi ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian yang meliputi teori-teori tentang air sadah, mekanisme pembentukan partikel CaCO_3 adanya medan magnet, sistem fluida statik dan dinamik, Persamaan kinetika empiris presipitasi laju reaksi, dan parameter kinetika presipitasi CaCO_3 .

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, pengambilan data percobaan, penentuan Persamaan empiris dan pengolahan data sebagai perhitungan parameter model kinetika presipitasi CaCO_3 .

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini meliputi pembahasan data percobaan dan analisis hasil penelitian.

**BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN
REFERENSI**

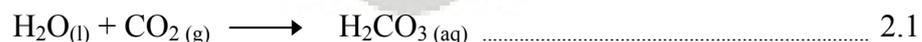
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pembentukan kerak CaCO_3 pada sistem perpipaan merupakan salah satu masalah yang sering dijumpai dalam berbagai proses di industri maupun rumah tangga. Masalah ini menimbulkan kerugian secara ekonomi dalam jumlah besar, karena dapat mengurangi efisiensi dari proses yang berlangsung serta mengurangi umur manfaat dari suatu unit operasi. Kerak merupakan lapisan keras berupa kristal yang terbentuk akibat presipitasi partikel-partikel terlarut dalam air. Salah satu pemicu timbulnya kerak adalah keberadaan ion-ion seperti Ca^{2+} dan CO_3^{2-} yang terkandung dalam air sadah, memiliki kecenderungan untuk membentuk partikel CaCO_3 baik pada fase larutan (*homogenous precipitation*) maupun terdeposit di permukaan (*heterogenous precipitation*).

2.1 Air Sadah

Air yang banyak mengandung mineral kalsium dan magnesium dikenal sebagai “air sadah” atau air yang sukar untuk dipakai mencuci. Oleh karena senyawa-senyawa kalsium dan magnesium relatif sukar larut dalam air, maka senyawa-senyawa itu cenderung untuk memisahkan dari larutan dalam bentuk endapan atau presipitat yang akhirnya menjadi kerak (*scale*). Kesadahan akan sangat berpengaruh terhadap mekanisme pembentukan deposit CaCO_3 yang terjadi di alam adalah sebagai berikut (Hasson *et al.*, 1996) :

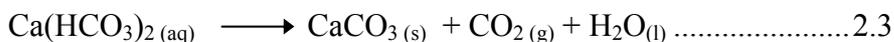
1. Terjadi reaksi antara H_2O dengan gas CO_2 yang terlarut dalam air membentuk asam bikarbonat. Karbondioksida yang terlarut ini merupakan hasil absorpsi dari udara maupun hasil respirasi dari bakteri di tanah



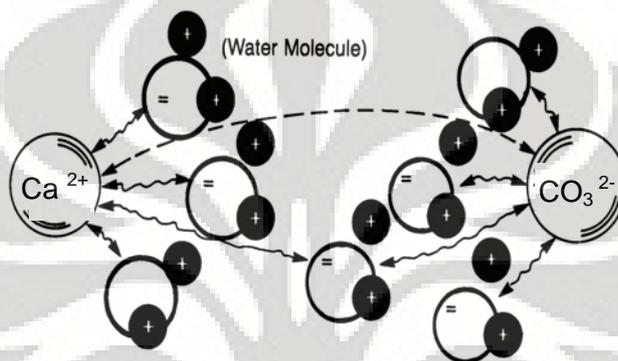
2. Asam bikarbonat didalam air pada kondisi pH lingkungan (pH 4.5 – 7.5) umumnya berbentuk ion bikarbonat (HCO_3^-). Ion bikarbonat ini dapat bereaksi dengan ion kalsium pada air sadah yang kemudian membentuk kalsium bikarbonat.



3. Kenaikan temperatur menyebabkan terjadinya pelepasan gas CO_2 (desorpsi CO_2) ke fasa gas sehingga kalsium bikarbonat kemudian terpresipitasi membentuk CaCO_3 .



Ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} pada air sadah akan dikelilingi oleh molekul air membentuk suatu lapisan (*hydration shell*) yang akan menahan bergabungnya ion-ion tersebut membentuk molekul CaCO_3 seperti yang terlihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1. Orientasi molekul air terhadap ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} pada air sadah

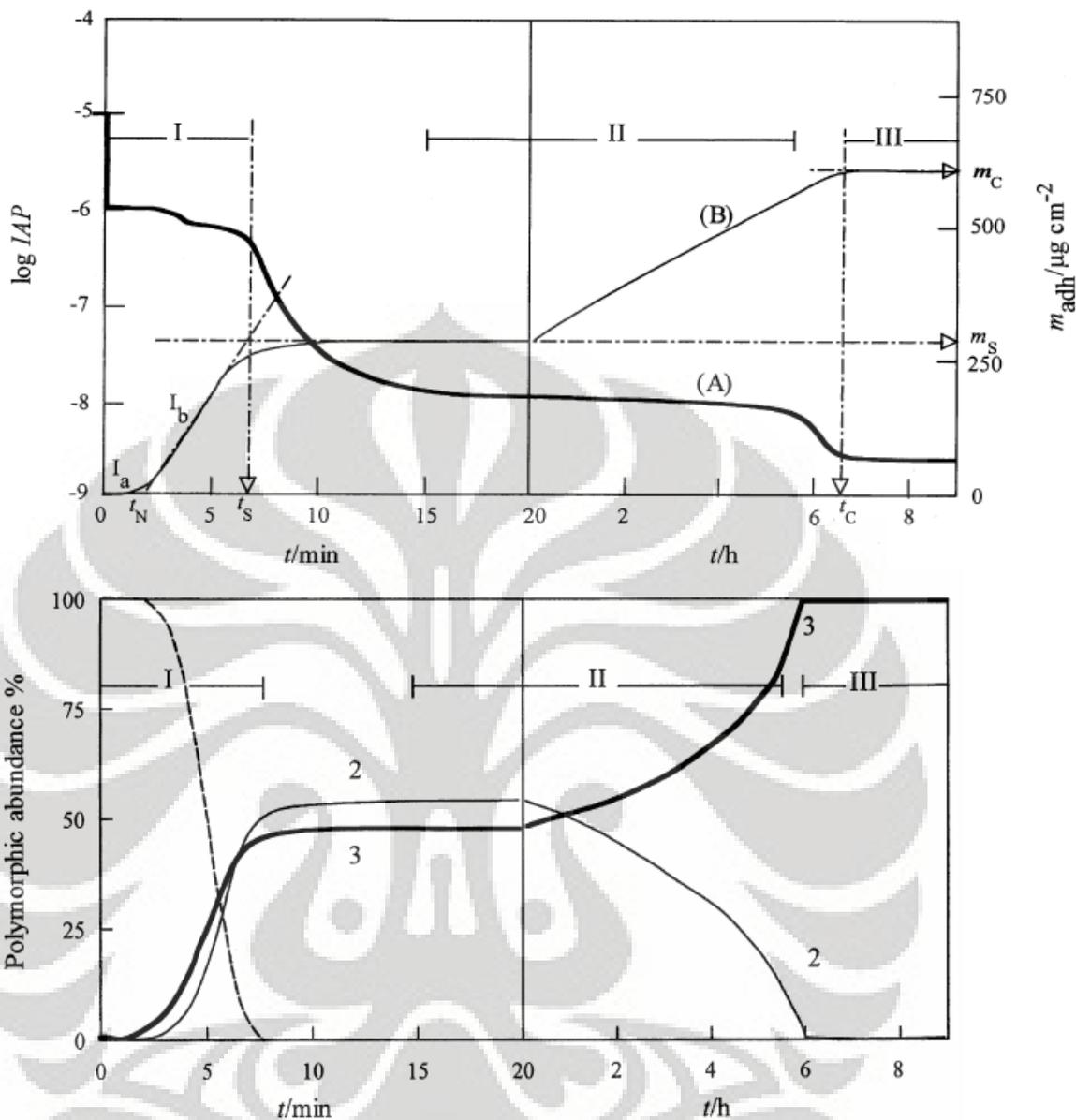
Sifat interaksi ion dengan molekul air relatif lebih kuat dibanding ikatan atau interaksi hidrogen antar molekul air namun kekuatan interaksi hidrat ion dapat dipengaruhi oleh agitasi mekanik berupa pengadukan dan pemompaan. Proses pengadukan dan pemompaan air sadah menyebabkan terganggunya hidrat ion sehingga meningkatkan interaksi atau tumbukan antara ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} yang pada akhirnya akan mempercepat terbentuknya inti CaCO_3 . Abdel (2002) melakukan percobaan pencampuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 menggunakan pengaduk. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar pengaduk mempercepat laju nukleasi CaCO_3 (Saksono *et al.*, 2007) menggunakan larutan CaCO_3 dengan sistem aliran pompa sirkulasi juga mendapatkan adanya peningkatan laju pembentukan deposit CaCO_3 dengan meningkatnya laju alir fluida. Hal ini menjadi penjelasan mengapa kerak lebih cepat terbentuk pada air yang bergerak.

2.2 Mekanisme Presipitasi CaCO₃

Presipitasi CaCO₃ secara homogen memiliki perbedaan mekanisme yang cukup besar dibanding dengan presipitasi CaCO₃ secara heterogen. Morfologi kristal merupakan parameter yang juga akan dijelaskan dalam proses presipitasi partikel CaCO₃.

2.2.1 Mekanisme Presipitasi Dan Terbentuknya Kristal CaCO₃ Dalam Larutan

Tahapan terjadinya presipitasi CaCO₃ dalam larutan dibagi menjadi tiga tahapan yaitu nukleasi, dehidrasi dan pertumbuhan kristal. Prosesnya diawali dengan aglomerasi ion-ion Ca²⁺ dan CO₃²⁻ membentuk kluster. Interaksi yang lebih kuat menyebabkan agregat tersebut membentuk koloid nuklei dan akan tumbuh menjadi kristal yang stabil (Ben Amor *et al.*, 2004). Koloid nuklei yang terbentuk pada awal presipitasi diidentifikasi sebagai CaCO₃ amorf (ACC) yang bersifat tidak stabil. ACC selanjutnya bertransformasi membentuk kristal vaterit yang berbentuk bola dan kalsit yang berbentuk kotak. Kristal vaterit bersifat meta-stabil dan akan bertransformasi lebih lanjut menjadi kalsit. Hal ini ditunjukkan oleh Abdel (2002), dengan menggunakan model larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Sumbu tegak pada Gambar 2.2.a menunjukkan konsentrasi ion Ca dan CO₃ di larutan (log IAP) sebagai fungsi waktu presipitasi (t), sedangkan Gambar 2.2.b menunjukkan presipitasi persen jenis kristal yang terbentuk dan sumbu datar menunjukkan waktu presipitasi (t). Zona I menunjukkan tahap pertama pertumbuhan kristal, dan Zona II adalah tahap kedua pertumbuhan kristal, sementara Zona III tahap keseimbangan.

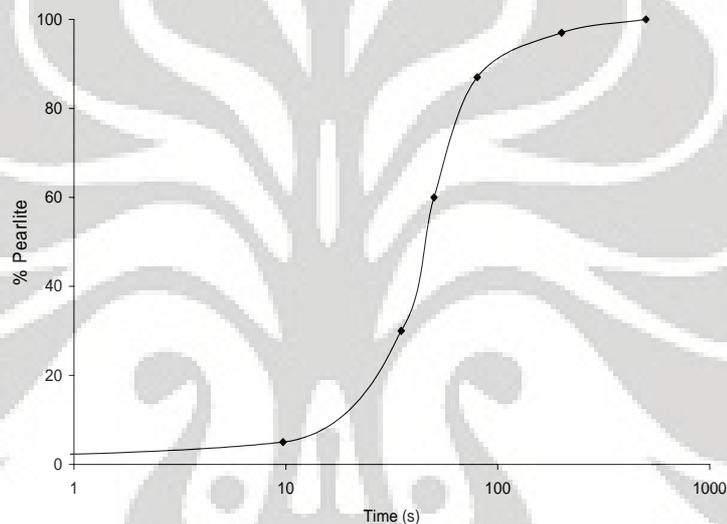


Gambar 2.2. a) Grafik log IAP ($\log [Ca^{2+}][CO_3^{2-}]$ —) dan deposit $CaCO_3$ — ($\mu g/cm^2$)
 b) Grafik persen komposisi Kristal (----ACC), (— Vaterit), (— kalsit) dalam larutan sebagai fungsi Waktu pada suhu 25 °C (Abdel *et al.*, 2002)

Grafik pembentukan deposit (I_b) pada 20 menit pertama presipitasi (Gambar 2.2.a) menunjukkan bentuk Grafik presipitasi yang mirip dengan bentuk Grafik Sigmoidal yang dikembangkan untuk menggambarkan model kinetika empiris proses transformasi fasa solid seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.4 sebagai berikut (Jena *et al.*, 1992) :

$$Y = 1 - e^{-Kt^n} \dots\dots\dots 2.4$$

dimana Y merupakan fungsi dari fraksi produk, K adalah fungsi konstanta laju dan t adalah waktu reaksi. Nilai n merupakan fungsi dari tetapan pembentukan inti (nukleasi) dan pertumbuhan kristal dan harga n akan berkisar pada nilai 1 hingga 4. Laju pada awal transformasi (nukleasi) berjalan sangat lambat kemudian meningkat cepat (nukleasi dan pertumbuhan kristal) dan melambat kembali hingga mencapai kesetimbangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.c (Jena *et al.*, 1992). Persamaan Sigmoidal ini juga cocok untuk menggambarkan pembentukan deposit CaCO_3 pada 20 menit pertama presipitasi seperti yang ditunjukkan pada Grafik I_b Gambar 2.2 a.

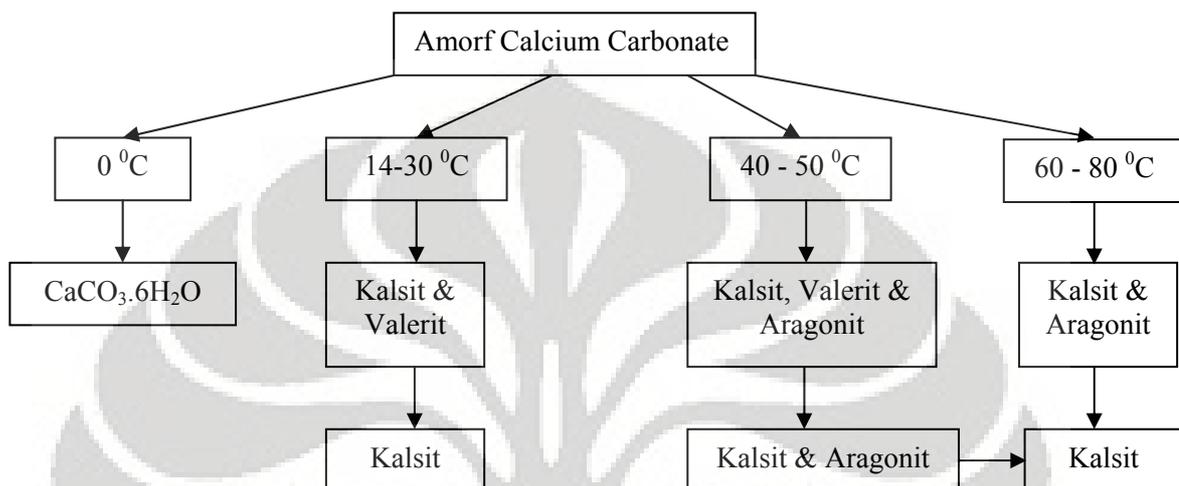


Gambar 2.2.c Persen pembentukan pearlite pada proses transformasi isothermal

Menurut Abdel (2002) menunjukkan bahwa mekanisme pembentukan kristal CaCO_3 pada fasa larutan (*homogenous precipitation*) dan fasa permukaan (*heterogenous precipitation*) terjadi dalam 3 tahap. Tahap I dimulai dengan pembentukan ACC, kemudian pada tahap II ACC ini akan bertransformasi membentuk kalsit dan vaterit. Tahap III terlihat bahwa komposisi vaterit akan semakin berkurang seiring kenaikan pembentukan kalsit. Transformasi ACC menjadi kalsit dan vaterit terjadi pada suhu rendah ($14 - 30\text{ }^\circ\text{C}$), sedangkan pada suhu $60 - 80\text{ }^\circ\text{C}$ ACC berttransformasi menjadi kalsit dan aragonit. Kristal aragonit juga merupakan kristal yang bersifat kerak lunak karena mudah lepas dari permukaan dengan adanya aliran air. Pada suhu $40 - 50\text{ }^\circ\text{C}$, ACC akan berttransformasi menjadi kalsit, aragonit dan vaterit (Elfil *et al.*, 2001).

Universitas Indonesia

Ground state Aragonit lebih tinggi 28 eV dibanding kalsit. Untuk itu ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} memerlukan energi yang lebih besar untuk dapat membentuk aragonit (Kobe *et al.*, 2002). Kristal $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ akan terbentuk pada suhu mendekati 0°C dan dengan cepat terdekomposisi jika suhu meningkat (Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Tahapan pembentukan kristal CaCO_3 dalam larutan pada berbagai suhu

2.2.2 Mekanisme Presipitasi Dan Terbentuknya Kristal CaCO_3 Pada Deposit

Kerak didefinisikan sebagai partikel CaCO_3 yang terbentuk di dinding pipa (deposit). Menurut Abdel (2002) melakukan pengamatan deposit CaCO_3 dari larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 . Hasil analisis SEM (Spectrophotometer Electron Microscope) pada deposit CaCO_3 menunjukkan kristal CaCO_3 yang terbentuk pada 1,5 jam pertama presipitasi hampir semuanya adalah kalsit. Setelah itu mulai tampak sejumlah kecil kristal vaterit (kurang dari 3 %) pada permukaan (Gambar 2.3). Hal ini menunjukkan perbedaan yang signifikan antara mekanisme pembentukan kristal di larutan dan di deposit dimana presipitasi di deposit akan jauh lebih dominan membentuk kristal kalsit dibanding presipitasi di larutan.

2.2.3 Pembentukan Jenis Kristal CaCO₃

Kristal CaCO₃ mempunyai tiga bentuk kristal yang berbeda yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit (Abdel *et al.*, 2002). Struktur kalsit berbentuk kubus, stabil dan dikenal sebagai *hard scale* (kerak keras) karena sulit terlepas dari permukaan, sedangkan aragonit dan vaterit merupakan jenis *soft scale* (kerak lunak) yang dapat terlepas dari permukaan dengan mudah dan berbentuk jarum.

Pembuktian bahwa magnetisasi mendorong terbentuknya kerak lunak berupa kristal aragonit merupakan topik penelitian yang hangat di kalangan para peneliti AMT dan penjelasan tentang fenomena sebenarnya masih belum terjawab. Para peneliti menggunakan sampel larutan Na₂CO₃ dan CaCl₂ dengan metode magnetisasi sebelum presipitasi dan sistem fluida statik menunjukkan adanya kecenderungan pembentukan kristal aragonit pada fasa larutan meskipun tidak signifikan (Higashitani *et al.*, 1993; Chibowski, *et al.*, 2003).

Menurut Kobe (2002), salah satu mekanisme yang menjelaskan mengenai pengaruh dari medan magnet terhadap kemampuan mendorong CaCO₃ untuk membentuk kristal aragonit, dapat diterangkan berdasarkan perhitungan tingkat energi elektron paling dasar dari masing-masing struktur kristal CaCO₃. Perhitungan awal untuk kedua bentuk kristal ini menganjurkan bahwa *ground electronic states* aragonit berada pada 28 eV di atas *ground electronic states* kalsit. Oleh karena itu, ion-ion Ca²⁺ dan CO₃²⁻ membutuhkan energi kinetik yang lebih besar untuk mencapai tingkat energi elektron paling dasar dari aragonit dan hal tersebut dapat tercapai dengan adanya induksi medan magnet yang akan meningkatkan energi kinetik dari ion-ion tersebut.

2.3 Mekanisme Pembentukan Partikel CaCO₃ Dalam Medan Magnet

Pembentukan partikel CaCO₃ sangat berpengaruh terhadap adanya medan magnet, pada bagian ini akan dijelaskan dalam beberapa aspek, dimulai dengan tinjauan terhadap hasil-hasil penelitian yang sudah ada. Beberapa peneliti melaporkan penurunan kerak yang terjadi mencapai hingga 50 % menggunakan aliran sirkulasi (Parson *et al.*, 1997), sementara peneliti lainnya mendapatkan tidak atau sedikit sekali terjadinya pengurangan kerak (Busch *et al.*, 1997), bahkan beberapa peneliti mendapatkan penambahan jumlah kerak yang terbentuk (Wang *et al.*, 1997; Lundager, 2004) dengan adanya medan magnet. Untuk itu

penjelasan dalam bagian ini akan diklasifikasikan berdasarkan kondisi operasi dan mekanisme yang terjadi untuk dapat melihat keterkaitan dari hasil-hasil penelitian AMT yang telah dilaporkan.

Kondisi pengujian proses magnetisasi dilakukan dengan 2 cara berbeda, yaitu *Magnetic Treatment Before Precipitation Proses* (MTBPP) dan *Magnetic Treatment In Precipitation Process* (MTIPP). Kondisi MTBPP adalah proses magnetisasi yang dilakukan sebelum proses presipitasi CaCO_3 terjadi atau dengan kata lain masih terdapat ion – ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dan sampel yang umum digunakan yaitu larutan Na_2CO_3 dan larutan CaCl_2 . Untuk mekanisme yang dominan terjadi pada kondisi ini adalah mekanisme ion (Chibowski, 2003; Madsen, 2004), sedangkan MTIPP (*magnetic treatment in precipitation process*) adalah proses magnetisasi yang dilakukan saat proses presipitasi CaCO_3 terjadi (sudah terdapat partikel CaCO_3 maupun ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dan sampel yang digunakan biasanya kalkokarbonik).

2.3.1 Sistem Fluida Statik Dan Dinamik

Beberapa ahli di bidang AMT mencoba mengklasifikasikan riset-riset yg telah dilakukan menjadi dua kelompok besar dengan penjelasan sebagai berikut (Baker *et al.*, 1996; Kozic *et al.*, 2003) :

- a. Sistem fluida statik yaitu sistem dengan sampel air tidak bergerak saat dimagnetisasi. Sistem ini telah digunakan oleh para peneliti dalam beberapa jurnal ilmiah (Wang *et al.*, 1997; Higashitani *et al.*, 1993; Higashitani *et al.*, 1995; Chibowski *et al.*, 2003; Holysz *et al.*, 2003; Parson *et al.*, 1997; Kney *et al.*, 2006; Saksono *et al.*, 2008). Dari sistem ini dapat menjelaskan bahwa medan magnet mempengaruhi hidrat ion dan interaksi ion dalam larutan air sadah sehingga dapat menurunkan atau menaikkan presipitasi CaCO_3 .
- b. Sistem fluida dinamik yaitu sistem dengan sampel air bergerak melewati medan magnet. Sistem fluida dinamik lebih banyak dilaporkan oleh para peneliti dibanding sistem fluida statik karena lebih menyerupai kondisi peralatan AMT yang banyak digunakan di pasaran. (Gabrielli *et al.*, 2001; Baker *et al.*, 1996; Hasson *et al.*, 1985; Kronenberg, 1985; Coey *et al.*, 1999; Knez *et al.*, 2005; Kobe *et al.*, 2002; fathi *et al.*, 2006; Saksono *et*

al., 2007). Dari sistem ini dapat menjelaskan bahwa medan magnet menyebabkan peningkatan interaksi antar ion dan partikel dalam larutan air sadah sehingga meningkatkan presipitasi CaCO_3 .

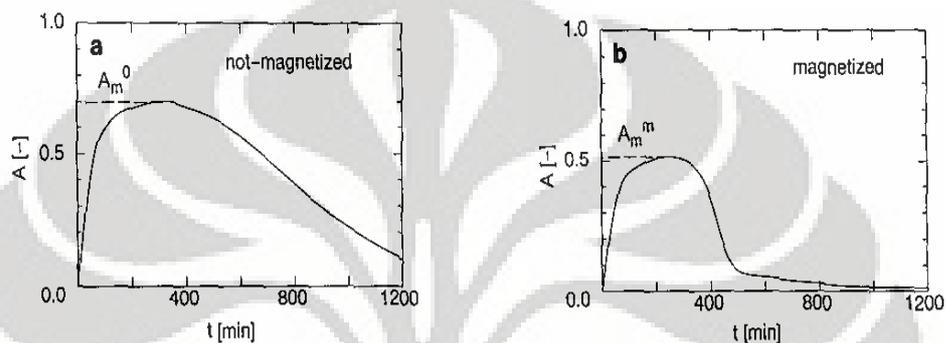
2.3.2 Mekanisme Ion Pada Presipitasi CaCO_3

Pada mekanisme ion, magnetisasi dilakukan sebelum presipitasi terjadi, berarti metode yang digunakan adalah MTBPP. Air sadah dapat mengandung ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} serta partikel CaCO_3 . Magnetisasi ion CO_3^{2-} dapat memperkuat ikatan antara ion dengan molekul air disekitarnya sehingga dapat menekan pembentukan CaCO_3 . Untuk menjelaskan mekanisme ini maka magnetisasi dilakukan sebelum ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} bertemu.

Fathi (2006) menduga telah terjadi perubahan sifat dari spesies yang ada di larutan saat proses magnetisasi (reaksi pra-nukleasi) dan baru berdampak pada proses sesudah magnetisasi yang ditandai adanya peningkatan laju nukleasi. Reaksi pra-nukleasi tersebut digambarkan sebagai proses pendekatan pasangan ion-ion yang akan memfasilitasi terjadinya nukleasi sesudah magnetisasi. Ben Amor (2004) menggambarkan proses presipitasi CaCO_3 dimulai dengan aglomerasi ion-ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} sebagai cluster. Reposisi ion-ion pada agregat tersebut akan membentuk “*colloidal nuclei*” tak stabil dan akhirnya akan tumbuh menjadi kristal yang stabil. Penjelasan lain yang mungkin adalah pada proses magnetisasi fluida dinamik menyebabkan penurunan kekuatan hidrat ion akibat agitasi mekanik dan gaya Lorentz. Jika suatu ion bermuatan seperti ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} bergerak melewati medan magnet maka akan mengalami gaya Lorentz, F sebesar : $F = e.v \times B$. Efek gaya Lorentz dapat menyebabkan pergeseran ion/partikel bermuatan.

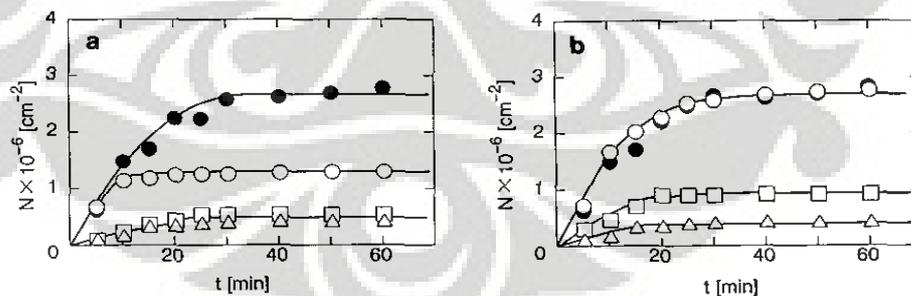
Adanya gaya Lorentz pada spesies bermuatan mendorong terjadinya perpindahan lokal (*local convection movement*) dalam cairan yang dapat berkontribusi pada meningkatnya penggabungan antara ion-ion atau partikel-partikel koloid (Baker *et al.*, 1996). Argumentasi ini dapat diterima terutama untuk kasus larutan dengan konsentrasi jauh di atas kondisi lewat jenuh. Perubahan sifat hidrat ion ini dapat memiliki sifat memori magnetik seperti halnya pada percobaan efek hidrat ion pada sistem fluida statik (Higashitani *et al.*, 1993). Untuk itu perlu dilakukan suatu pembuktian tentang hal ini.

Ko Higashitani (1993) berhasil menunjukkan terjadinya mekanisme ion dengan cara larutan sampel Na_2CO_3 (ion CO_3) dimagnetisasi terlebih dahulu, kemudian dicampur dengan larutan CaCl_2 dan diamati proses presipitasinya menggunakan spektrofotometer ultra violet (panjang gelombang, $\lambda = 350 \text{ nm}$). Hasilnya yaitu magnetisasi menekan presipitasi dimana sampel yang dimagnetisasi memiliki puncak absorpsi (A_m^m) lebih rendah dibandingkan sampel non-magnetisasi (A_m^0) seperti terlihat pada Gambar 2.4.

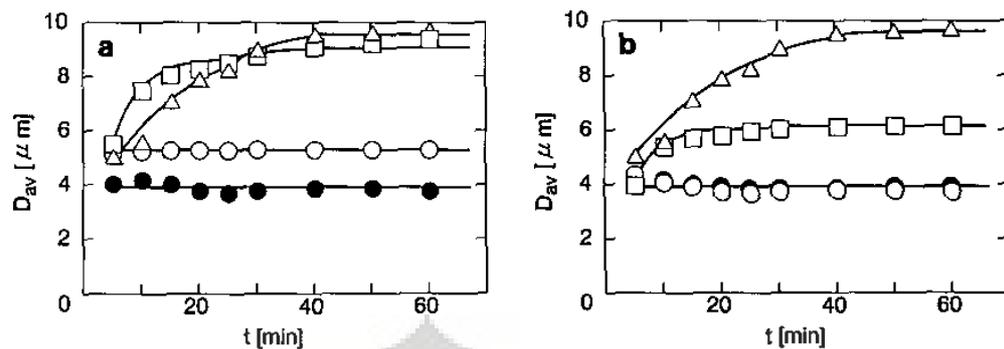


Gambar 2.4 Tipe variasi absorpsi untuk suspensi partikel CaCO_3 (a) larutan non-magnetisasi (b) larutan magnetisasi ($\beta = 0,45 \text{ T}$, $t_e = 10 \text{ min}$)

Pengaruh magnetisasi juga tampak pada jumlah terbentuknya partikel CaCO_3 yang semakin menurun (Gambar 2.5) dan ukuran partikel CaCO_3 yang semakin bertambah besar (Gambar 2.6) dengan kenaikan waktu magnetisasi (t_e) dan kuat medan magnet (B).



Gambar 2.5 Variasi jumlah partikel (N) (a) Variasi N pada variasi B dengan $t_e = 10$ menit : [●] $B = 0 \text{ T}$, [○] $B = 0,1 \text{ T}$, [□] $B = 0,33 \text{ T}$, dan [△] $B = 0,45 \text{ T}$; (b) Variasi N pada variasi t_e dengan $B = 0,45 \text{ T}$: [●] $t_e = 0$, [○] $t_e = 2$, [□] $t_e = 6$, dan [△] $t_e = 10$ menit



Gambar 2-6. Variasi rata-rata ukuran partikel (D_{av}) : (a) Variasi D_{av} pada variasi B dengan $t_e = 10$ menit [●] B = 0 T, [○] B = 0,1 T, [□] B = 0,33 T, dan [△] B = 0,45 T; (b) Variasi D_{av} pada variasi t_e dengan $B = 0,45$ T : [●] $t_e = 0$, [○] $t_e = 2$, [□] $t_e = 6$, dan [△] $t_e = 10$ menit

Berdasarkan hasil percobaannya, Higashitani (1993) mendapatkan beberapa hipotesis antara lain :

1. Magnetisasi mempengaruhi presipitasi dengan menekan frekuensi nukleasi sehingga jumlah partikel CaCO_3 yang terbentuk lebih sedikit.
2. Pertumbuhan kristal CaCO_3 dipercepat yang ditandai dengan bertambahnya ukuran diameter rata-rata partikel yang terbentuk.
3. Magnetisasi menunjukkan kristal aragonit tidak terbentuk di permukaan.
4. Efek magnetisasi pada larutan sampel air sadah setelah dimagnetisasi (*magnetic memory effect*) bertahan sekitar 120 jam.

Hipotesis Higashitani (1993) untuk menjelaskan mekanisme ion adalah medan magnet mempengaruhi molekul air yang terikat lemah di sekitar ion kation karena bersifat meta-stabil, sehingga konfigurasi molekul air menjadi lebih teratur di sekitar ion kation dan meningkatkan lapisan absorpsi pada permukaan ion hidrat. Penelitian Higashitani dan Yizhak (Higashitani, 1998; Yizhak, 1994) menunjukkan adanya penebalan lapisan adsorb (*adsorbed layer*) sebagai akibat adsorpsi molekul ion hidrat tersebut pada permukaan. Penebalan lapisan adsorb terjadi karena energi hidrasi ion CO_3^{2-} lebih kecil dari energi hidrasi ion Ca^{2+} . Energi hidrasi ion CO_3^{2-} sebesar 1315 kJ/mol sedangkan energi hidrasi ion Ca^{2+} sebesar 1505 kJ/mol. Adanya medan magnet akan lebih meningkatkan energi hidrasi ion CO_3^{2-} sehingga akibatnya ion – ion hidrat menjadi lebih terstruktur dengan baik di sekitar ion CO_3^{2-} . Dengan semakin terstrukturnya ion - ion hidrat

di sekitar ion CO_3^{2-} maka *adsorbed layer* ion CO_3^{2-} menjadi lebih tebal sehingga menghalangi terjadinya ikatan dengan ion Ca^{2+} membentuk partikel CaCO_3 . Penebalan *adsorbed layer* ion CO_3^{2-} tidak hanya terjadi di fasa larutan, melainkan juga ion-ion CO_3^{2-} yang sudah terhidrat dan tertarik ke permukaan karena adanya muatan positif dari permukaan material yang menyebabkan pembentukan *scale* berkurang.

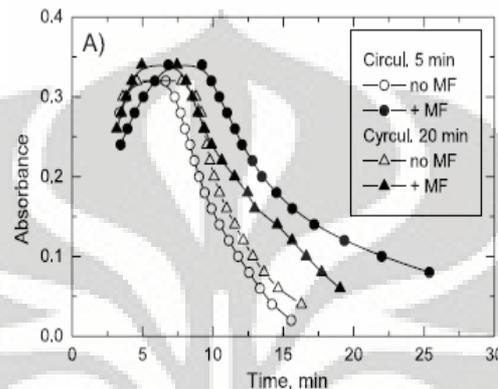
2.4 Pengaruh Suhu Larutan

Pada umumnya reaksi akan berlangsung lebih cepat bila suhu dinaikkan. Dengan menaikkan suhu maka energi kinetik molekul-molekul zat yang bereaksi akan bertambah sehingga akan lebih banyak molekul yang memiliki energi sama atau lebih besar dari E_a . Dengan demikian lebih banyak molekul yang mencapai keadaan transisi atau dengan kata lain kecepatan reaksi menjadi lebih besar.

Koutsoukos (1989) telah melakukan eksperimen presipitasi CaCO_3 pada permukaan yang dipanaskan. Hasil pengamatan menunjukkan pada tahap awal yang terbentuk adalah inti vaterit, dan pada tahap selanjutnya akan bertransformasi menjadi kalsit dan aragonit. Chibowski (2003) melakukan percobaan magnetisasi sistem statis dan metode MTIPP dan kuat medan 0,1 T pada suhu larutan saat magnetisasi 20 – 80 °C. Pada suhu di atas 60 °C, pengaruh magnetisasi berkurang dan jumlah deposit CaCO_3 yang terbentuk menurun dengan naiknya suhu. Hasil uji XRD menunjukkan terjadinya peningkatan jumlah kristal aragonit pada suhu 60 dan 80 °C di fasa larutan. Menurutnya, peningkatan temperatur akan menyebabkan laju presipitasi CaCO_3 pada fasa larutan akan meningkat dan jenis kristal yang dominan terbentuk adalah aragonit yang tidak mudah menempel pada permukaan logam. Hal ini sesuai dengan mekanisme pembentukan kristal aragonit yang lebih mudah terbentuk pada suhu di atas 60 °C (Kobe *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 1999). Ben Amor (2004) mempelajari pengaruh suhu pada proses nukleasi CaCO_3 menggunakan model larutan kalsium karbonat dan mendapatkan bahwa kenaikan suhu lebih mendorong peningkatan presipitasi di fasa larutan.

2.5 Pengaruh Lamanya Sirkulasi

Dalam penelitiannya, Chibowski (2003) melakukan magnetisasi terlebih dahulu (MTBPP) larutan Na_2CO_3 dengan sirkulasi dan kemudian mencampurkannya dengan larutan CaCl_2 . Proses presipitasi diamati dengan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang $543,2 \lambda$. Magnet yang digunakan mempunyai kuat medan magnet sebesar $0,1 \text{ T}$.



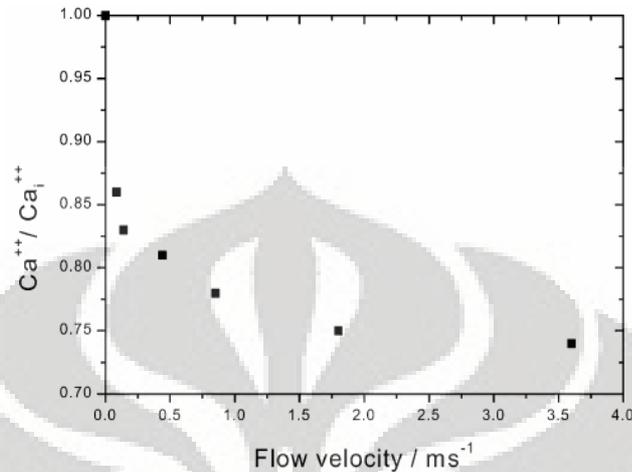
Gambar 2.7. Grafik Tingkat Absorbansi terhadap Waktu Presipitasi CaCO_3 : 5 menit MF (Magnetisasi Fluida Sirkulasi) pada pH 10,3; 20 menit MF (Magnetisasi Fluida Sirkulasi) untuk pH 10,25

Chibowski mendapatkan hasil pada sirkulasi selama 5 menit sampel dengan magnetisasi memiliki puncak absorbansi yang lebih besar daripada sampel yang tidak dimagnetisasi. Hal ini menunjukkan bahwa dalam sampel yang dimagnetisasi terjadi proses presipitasi yang lebih banyak daripada sampel yang tidak dimagnetisasi. Magnetisasi pada sirkulasi selama 20 menit dapat mempercepat pembentukan kristal dibandingkan dengan magnetisasi pada sirkulasi selama 5 menit. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu sirkulasi dengan magnetisasi maka proses presipitasi yang terjadi di larutan semakin cepat.

2.6 Pengaruh Laju Alir

Gabrielli (2001) melakukan percobaan magnetisasi larutan CaCO_3 dengan aliran sirkulasi (sistem fluida dinamik) dan mengamati konsentrasi ion Ca^{2+} sebelum (Ca_i^{++}) dan sesudah magnetisasi (Ca^{++}) pada berbagai kecepatan fluida menggunakan alat ukur ion selektif Ca. Gambar 2.8 menunjukkan terjadinya penurunan ion Ca^{2+} dengan meningkatnya kecepatan fluida, bahkan pada

kecepatan yang sangat rendah (0,074 m/s) telah terjadi penurunan ion Ca^{2+} sebanyak 25 %. Hasil ini menunjukkan bahwa gaya Lorentz berpengaruh terhadap proses nukleasi CaCO_3 saat proses magnetisasi.



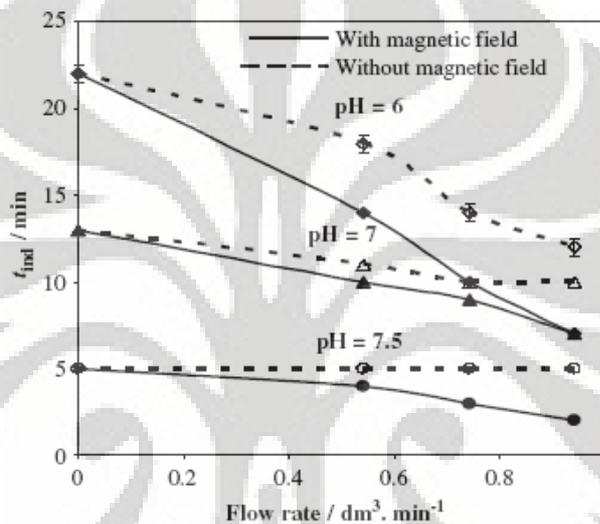
Gambar 2.8. Rasio penurunan ion Ca^{2+} sesudah magnetisasi (Ca^{++}) dan sebelum magnetisasi (Ca_i^{++}) di larutan pada proses magnetisasi larutan CaCO_3 pada berbagai kecepatan alir larutan

Gabrielli juga mengamati proses deposit CaCO_3 setelah magnetisasi pada wadah yang diam (statik). Tabel 2.1 menunjukkan terjadinya peningkatan waktu nukleasi (t_n) dari 5 menit tanpa magnetisasi menjadi 30 menit dengan magnetisasi pada laju alir $V = 0,074 \text{ m/s}$. Waktu pembentukan kerak (t_s) dan total deposit CaCO_3 juga meningkat dari 75 menit dan 1 g/cm^2 tanpa magnetisasi pada sampel tanpa magnetisasi menjadi 180 menit dan $1,75 \text{ g/cm}^2$ dengan magnetisasi. Waktu nukleasi (t_n) adalah waktu yang dibutuhkan saat pertama kalinya deposit CaCO_3 terdeteksi dan waktu pembentukan kerak (t_s) adalah waktu dimana pembentukan deposit CaCO_3 masih terjadi. Terjadi jumlah peningkatan deposit dengan makin bertambahnya kecepatan alir larutan.

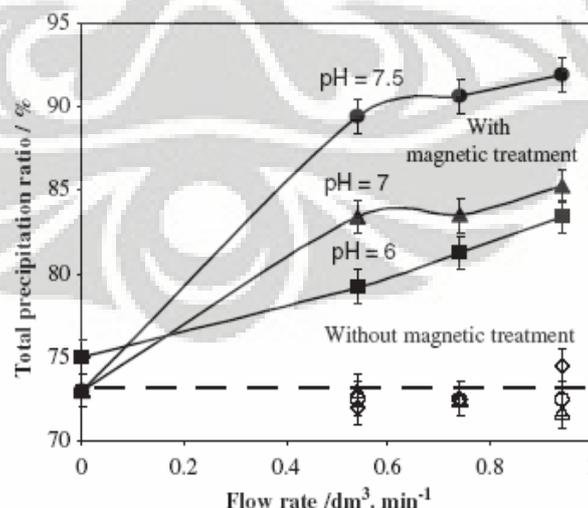
Tabel 2.1. Waktu nukleasi (t_n) dan waktu pembentukan kerak (t_s) pada berbagai kecepatan alir

	Tanpa magnet	Dengan Magnet	
		$V = 0,074 \text{ m/s}$	$V = 0,885 \text{ m/s}$
t_s (min)	75	180	225
t_n (min)	5	30	50

Fathi (2006) dengan model larutan CaCO_3 yang serupa dan titrasi kompleksometri EDTA untuk pengukuran ion Ca^{2+} mendapatkan tidak adanya penurunan ion Ca^{2+} selama 30 menit proses magnetisasi. Efek magnetisasi baru teramati sesudah proses magnetisasi (efek memori magnetik) dengan mengamati waktu induksi/nukleasi. Waktu induksi adalah waktu dimana konsentrasi ion Ca^{2+} di larutan mulai menurun. Proses presipitasi CaCO_3 pada penelitian (Fathi, 2006) dilakukan dengan dipercepat menggunakan aliran gas nitrogen pada larutan untuk mempercepat lepasnya CO_2 terlarut ke fasa gas (degassing CO_2).



Gambar 2.9. Waktu induksi t_{ind} vs laju alir pada pH awal yang berbeda



Gambar 2.10. Rasio presipitasi total CaCO_3 pada berbagai laju alir dan pH awal larutan untuk waktu presipitasi 90 menit dan konsentrasi ion Ca^{2+} mula-mula 200 ppm

Gambar 2.9 menunjukkan adanya penurunan waktu induksi dengan bertambahnya laju alir. Magnetisasi mempercepat waktu induksi terutama pada pH rendah dan laju alir tinggi. Penurunan waktu induksi ini menunjukkan magnetisasi larutan dengan sistem fluida dinamik mendorong terjadinya peningkatan laju nukleasi CaCO_3 . Presipitasi total CaCO_3 dapat diukur dengan melihat penurunan jumlah ion Ca^{2+} di larutan. Fathi (2006) mendapatkan bahwa proses magnetisasi meningkatkan presipitasi total CaCO_3 sesudah proses magnetisasi.

Gambar 2.10 menunjukkan semakin tinggi pH awal dan laju alir larutan maka akan semakin tinggi pula presipitasi total CaCO_3 . Kenaikan presipitasi total pada proses magnetisasi lebih disebabkan adanya kenaikan presipitasi di fasa larutan, sedang di permukaan yang terjadi adalah penurunan presipitasi.

2.7 Persamaan Kinetika Empiris Laju Reaksi

Persamaan model kinetika yang digunakan pada penelitian ini adalah mengikuti Persamaan Avrami berdasarkan Grafik Sigmoidal dikarenakan bentuk grafik presipitasi CaCO_3 yang dihasilkan hampir sama dengan bentuk Grafik Sigmoidal sehingga Persamaan Sigmoidal ini sangat tepat untuk menggambarkan pembentukan deposit CaCO_3 dimana laju pada awal transformasi (nukleasi) berjalan sangat lambat kemudian meningkat cepat (nukleasi dan pertumbuhan kristal) dan melambat kembali (kesetimbangan) terlihat dalam Gambar 22.c

Secara keseluruhan transformasi makroskopis terjadi melalui proses sejumlah atom. Proses laju dari masing-masing atom terjadi secara eksponensial berhubungan dengan temperatur absolut dan energi aktivasi. Transformasi laju dapat digambarkan sebagai fungsi eksponen empiris dari energi aktivasi, Q^* yang merupakan karakteristik proses transformasi. Laju transformasi juga diharapkan tergantung pada besarnya proses transformasi, Y dan t adalah fungsi Waktu. Persamaan umum menurut Avrami yang membentuk Grafik Sigmoidal pada Gambar 2.2 c, yaitu

$$Y = 1 - e^{-Kt^n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Jika K dan n dianggap konstan, maka persamaannya menjadi :

$\ln(1 - Y) = -Kt^n$, kedua sisi di lon kan sehingga menjadi :

$$\ln \ln \left(\frac{1}{1 - Y} \right) = \ln K + n \ln t \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan konstanta laju, k , menjadi :

$$k = K^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dalam perhitungan penelitian ini menggunakan persamaan berdasarkan Grafik Sigmoidal karena grafik yang dihasilkan hampir sama dengan yang diperoleh pada penelitian maka persamaan rumus yang digunakan menggunakan Persamaan Sigmoidal tersebut. Adapun perhitungan untuk menentukan parameter kinetika akan dibahas lebih lanjut.

2.7.1 Energi Aktivasi dan Konstanta Laju Reaksi

Secara empiris energi aktivasi (simbol : Q^* atau E_a) adalah parameter yang sangat penting dalam suatu eksperimen. Yield dari temperatur tergantung pada laju transformasi. Estimasi dari besarnya energi aktivasi berguna untuk mengetahui mekanisme transformasi. Q^* dihubungkan dengan energi entalpi ΔH^* dari keseluruhan proses atomik yang merupakan proses transformasi. Hal tersebut memungkinkan untuk menarik kesimpulan dari mekanisme transformasi jika hubungan fungsional antara Q^* dan ΔH^* diketahui.

Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan suatu reaktan agar menghasilkan suatu produk. Dalam prakteknya, katalis sebenarnya terlibat dalam reaksi kimia, tetapi pada akhir reaksi katalis dihasilkan kembali.

Reaksi reaktan membentuk suatu produk tergantung dari tumbukan yang terjadi, namun tidak semua tumbukan dapat menghasilkan suatu produk. Tumbukan akan menghasilkan suatu produk jika energi yang dihasilkan dari tumbukan tersebut dapat mencapai energi terjadinya reaksi yang disebut sebagai energi aktivasi (E_a). Energi aktivasi dapat digambarkan seperti di bawah ini :



Gambar 2.11. Keadaan awal dan akhir pembentukan energi aktivasi dalam suatu reaksi

Energi aktivasi dengan katalis lebih rendah daripada energi aktivasi tanpa katalis sehingga kompleks teraktivasi pada reaksi dengan katalis mudah tercapai. Akibatnya, reaksi dengan bantuan katalis berlangsung lebih cepat. Transformasi Energi aktivasi dapat dihitung menggunakan data eksperimen pada transformasi kinetik dengan beberapa cara. Pada penelitian ini menggunakan cara berdasarkan laju konstanta yaitu bentuk persamaannya sebagai berikut :

$$\ln k = \ln k_0 - \left(\frac{Q^*}{R} \right) \cdot \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$Y = b + a x$$

Jika sudah diplotkan maka didalam Grafik akan diperoleh nilai slope yang merupakan nilai $\ln k_0$ sehingga kita dapat menghitung Q^* sebagai fungsi dari energi aktivasi.

Secara matematis hubungan antara nilai tetapan laju reaksi (k) terhadap suhu dinyatakan oleh formulasi Arrhenius :

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

- Y : fraksi mol CaCO_3 yang terbentuk
- t : waktu presipitasi (menit)
- k : tetapan laju reaksi (menit^{-1})
- k_0 : faktor frekuensi tumbukan (menit^{-1})
- R : tetapan Gas (8,314 J/K.mol)

E_a : energi aktivasi (J/mol)

T : suhu presipitasi (Kelvin)

n & K : tetapan

Jika $\ln k$ diplot terhadap $1/T$ maka akan didapat garis lurus dengan nilai tangensial $-E_a/R$. Besarnya konstanta laju reaksi sangat mempengaruhi terhadap pembentukan presipitasi CaCO_3 . Bila temperatur meningkat, fraksi molekul yang memiliki energi kinetik pun meningkat sehingga meningkatkan energi aktivasinya.

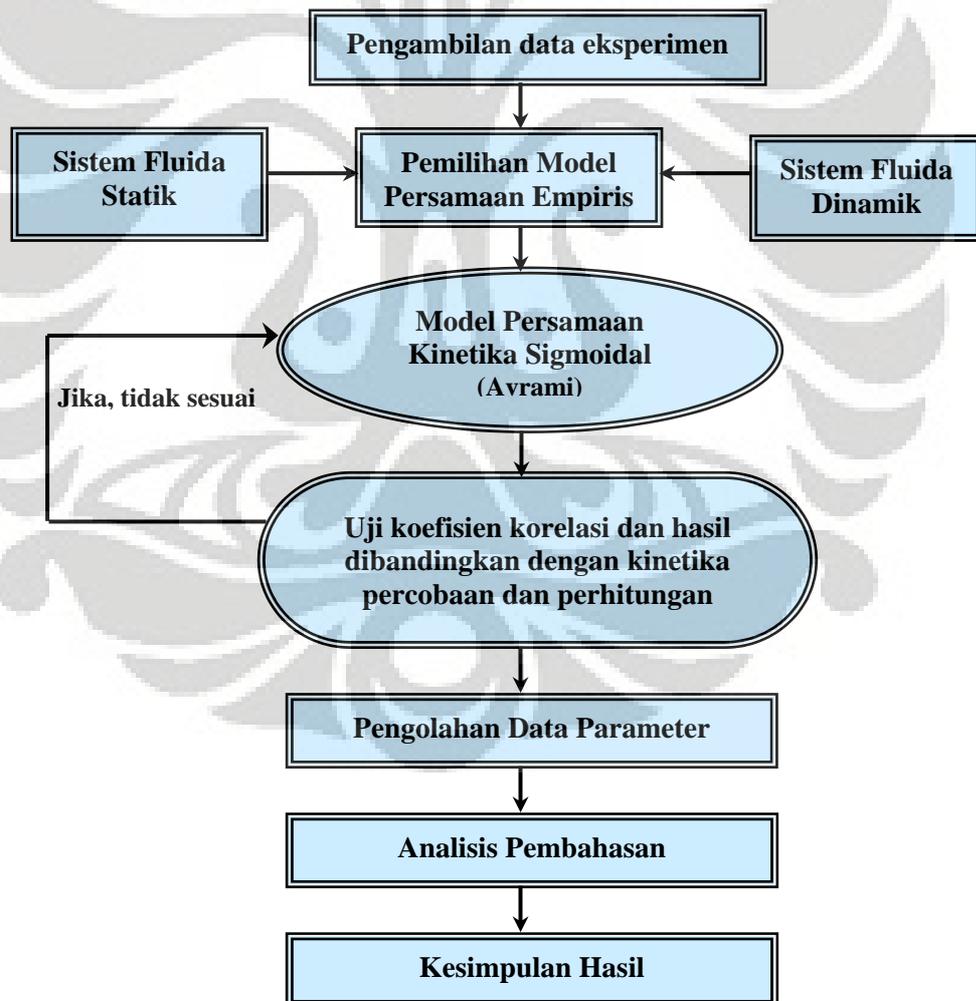


BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode penelitian yang terbagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu pengambilan data percobaan, penentuan persamaan empiris, dan pengolahan data. Bab ini berisi data-data eksperimen pada sistem fluida dinamik maupun fluida statik menggunakan sampel termagnetisasi dan non-termagnetisasi serta rumus standar yang digunakan sebagai perhitungan parameter model kinetika presipitasi CaCO_3 .

4.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Pengambilan data-data hasil penelitian presipitasi CaCO_3
Data yang diperoleh merupakan data-data hasil penelitian presipitasi CaCO_3 dengan pengaruh medan magnet dan dengan sistem sirkulasi yang menggunakan larutan CaCO_3 sebagai sampel air sadah. Variasi kondisi operasi yang dilakukan dalam proses presipitasi CaCO_3 dengan medan magnet yaitu variasi suhu, konsentrasi larutan, lama magnetisasi, kuat medan magnet, laju alir, panjang magnet, dan waktu sirkulasi.
2. Pemilihan metode yang digunakan dalam penelitian
Ada dua metode magnetisasi air sadah yaitu magnetisasi sistem fluida statik dimana sampel dimagnetisasi dalam keadaan diam, dan magnetisasi sistem fluida dinamik dimana sampel dalam keadaan bergerak saat dimagnetisasi.
3. Penentuan persamaan empiris presipitasi CaCO_3 yang terjadi dalam penelitian yang telah dilakukan. Pada tahapan ini dilakukan pengolahan secara matematis dari reaksi presipitasi yang terjadi dalam larutan air sadah, sehingga diperoleh persamaan analitis yang dapat digunakan untuk memodelkan persamaan empiris presipitasi CaCO_3 .
4. Melakukan simulasi model kinetika empiris Persamaan Avrami
Setelah diperoleh persamaan empiris presipitasi CaCO_3 maka diperlukan simulasi proses untuk menyesuaikan antara data-data hasil penelitian yang sudah dilakukan dengan data-data hasil pemodelan yang telah diperoleh persamaan empirisnya menggunakan Persamaan Avrami.
5. Melakukan uji validitas untuk mengetahui nilai koefisien korelasi dari Persamaan kinetika yang dihasilkan dimana R^2 min standar = 0,96 (regresi linier). Nilai tersebut digunakan untuk mengetahui kelinearan dan keakuratan data penelitian tersebut terhadap grafik hubungan antara beberapa parameter kondisi operasi. Jika nilai korelasi yang dihasilkan kurang dari 0,96 maka persamaan tersebut kurang valid dan dicari kembali hingga diperoleh nilai R^2 minimum sebesar 0,96.

6. Pengolahan data parameter kinetik

Berdasarkan data-data penelitian yang dihasilkan kemudian dilakukan pengolahan data terhadap berbagai parameter kinetik yaitu terhadap konstanta laju reaksi (k) dan energi aktivasi (E_a), dari suatu model kinetika empiris dalam sistem fluida statik maupun dinamik dibawah pengaruh medan magnet.

7. Analisis Pembahasan

Pada tahap ini akan dibahas data yang dihasilkan dari persamaannya sudah diturunkan dari reaksi yang terjadi dan menganalisisnya, baik dari segi kondisi operasi maupun variabel proses.

8. Kesimpulan Hasil

Setelah diperoleh hasil dan pembahasan dari pengolahan data maka akan dapat ditarik kesimpulan mengenai hasil persamaan kinetika empiris, pengaruh medan magnet terhadap interaksi hidrat ion pada sistem fluida statik dan fluida dinamik, maupun efek interaksi ion sistem fluida statik dan dinamik yang mempengaruhi studi kinetika presipitasi CaCO_3 dari larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 .

3.2 Prosedur Penelitian

Percobaan ini menggunakan larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 sebagai model air sadah. Prosedur saat melakukan analisis dengan metode-metode yang digunakan dalam penelitian ini akan di jelaskan sebagai berikut :

3.2.1 Analisis Presipitasi CaCO_3 Dengan Titrasi Kompleksimetri EDTA

Dalam metode ini, analisis sampel dilakukan dengan menggunakan larutan EDTA 0,1 M dan prosedurnya adalah sebagai berikut :

1. Sebanyak 20 mL larutan sampel dituang kedalam Erlenmeyer 250 mL.
2. Ditambahkan 2 mL larutan buffer pH 10 dan 2-3 tetes indikator EBT sehingga larutan menjadi berwarna merah violet / keunguan.
3. Dicatat volume awal titran EDTA 0,1 M di buret, lalu titrasi perlahan-lahan sampai di peroleh perubahan warna larutan menjadi biru kemudian titrasi dihentikan.

4. Dicatat volume akhir titrasi (volume larutan EDTA).
5. Prosedur ini dilakukan pada sampel magnetisasi maupun non-magnetisasi.

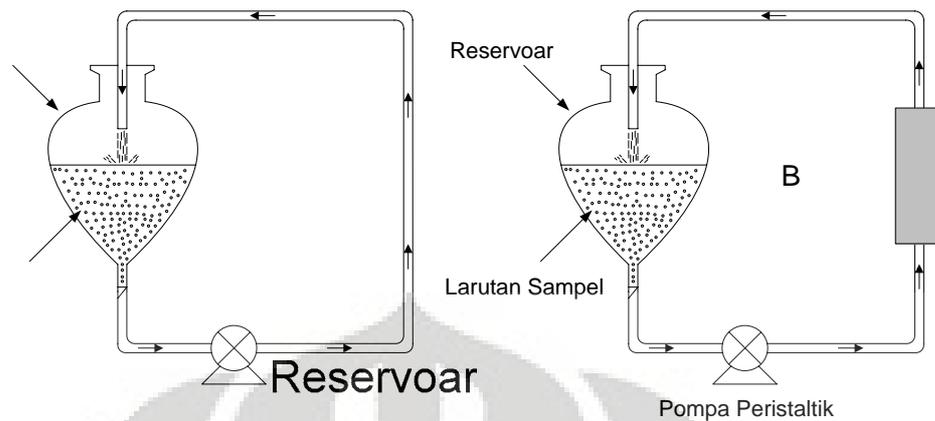
Sampel tersebut dilakukan dengan beberapa variasi kondisi operasi yang dilakukan dalam proses presipitasi CaCO_3 dengan medan magnet, yaitu variasi temperatur, konsentrasi larutan, kuat medan magnet, dan waktu sirkulasi.

Variabel kondisi operasi meliputi :

1. Suhu larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 antara lain 28; 50; dan 70 $^{\circ}\text{C}$. Hal ini bertujuan untuk mengamati efek suhu terhadap presipitasi CaCO_3 .
2. Waktu sirkulasi dan magnetisasi antara lain 0; 2; 5; 10; 20; 40; 60 dan 120 menit. Hal ini bertujuan untuk melihat efek waktu magnetisasi terhadap presipitasi CaCO_3 saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi.
3. Kuat medan antara lain 0; 2; 4; dan 5,2 kG dengan Hal ini bertujuan untuk melihat efek kuat medan magnet terhadap presipitasi CaCO_3 .
4. Konsentrasi sampel Na_2CO_3 dan CaCl_2 antara lain 0,005 M; 0,01 M; dan 0,02 M. Hal ini bertujuan untuk melihat efek konsentrasi larutan sampel terhadap presipitasi CaCO_3 dengan adanya medan magnet.
5. Kecepatan alir 0,262 m/s; 0,554 m/s; dan 0,792 m/s. Hal ini bertujuan untuk melihat efek kecepatan alir terhadap presipitasi CaCO_3 saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi.
6. Panjang magnet dengan mengatur jumlah magnet: 1, 3, 5, dan 7 pasang magnet dengan panjang tiap pasang adalah 5 cm Hal ini bertujuan untuk melihat efek panjang magnet terhadap presipitasi CaCO_3 saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi.

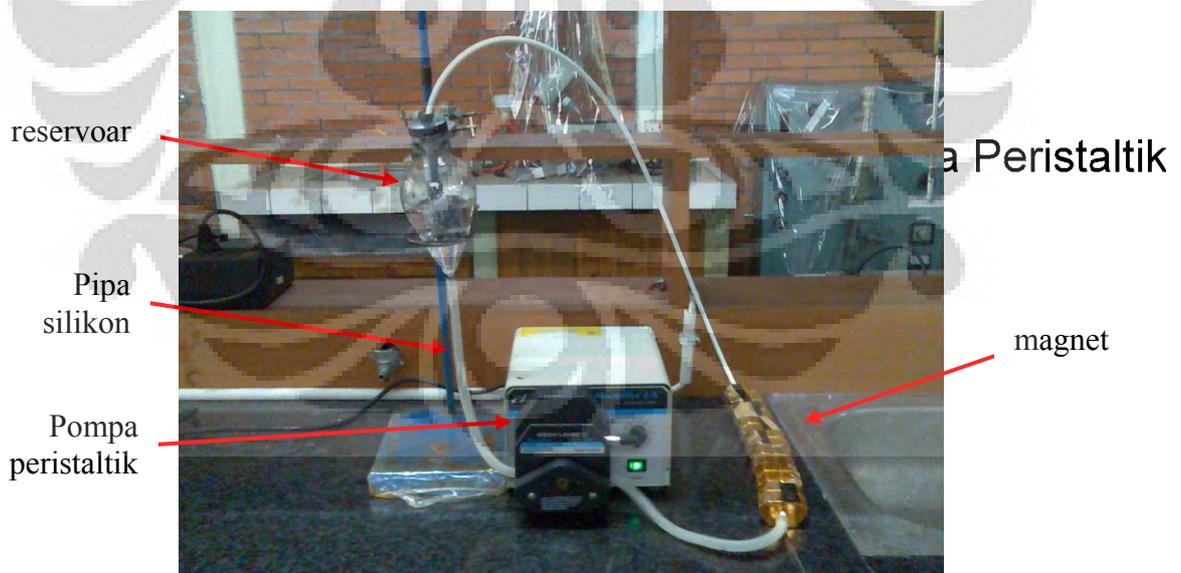
Dari variabel tersebut akan digunakan untuk menentukan persamaan kinetika empiris presipitasinya maupun mendapatkan parameter kinetik presipitasi CaCO_3 .

3.2.2 Peralatan Magnetisasi Sistem Sirkulasi



Gambar 3.2 Skema Peralatan Sistem Sirkulasi Non-Magnet (A) dan Magnet (B)

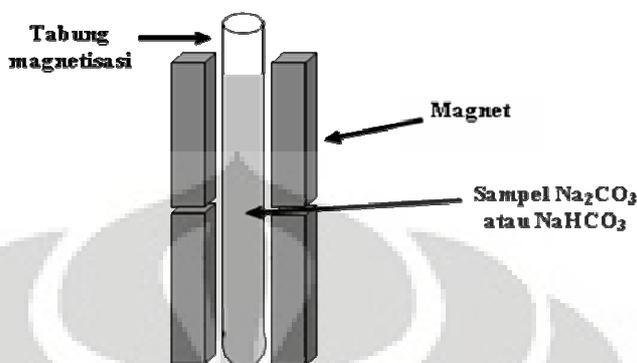
Reaksi presipitasi CaCO_3 dengan sistem sirkulasi dilakukan dengan sistem sirkulasi tertutup dengan jangka waktu tertentu. Sistem fluida sirkulasi (fluida dinamik) menggunakan selang silikon dan pompa peristaltik. Setelah dimagnetisasi selanjutnya pada sampel larutan akan dilakukan pengujian kandungan ion Ca^{2+} untuk mengamati proses presipitasi saat magnetisasi dan pemindahan sampel ke tabung presipitasi untuk diamati presipitasinya sesudah magnetisasi.



Gambar 3.3 Peralatan Sistem Sirkulasi

3.2.3 Peralatan Magnetisasi Sistem Statik

Peralatan magnetisasi sistem fluida statik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Skema Alat Magnetisasi sistem statik

Sistem fluida statik dilakukan untuk melihat efek konsentrasi larutan sampel terhadap presipitasi CaCO_3 dengan adanya medan magnet dalam kondisi tanpa sirkulasi. Presipitasi dilakukan saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi.

3.3 Model Persamaan Presipitasi CaCO_3

Persamaan kinetika presipitasi pembentukan CaCO_3 ini menggunakan model persamaan kinetika empiris dengan bentuk Grafik Sigmoidal seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1 dimana harga K merupakan fungsi tetapan laju k (Persamaan 2.2).

Dalam perhitungan ini menggunakan persamaan berdasarkan Grafik Sigmoidal karena grafik yang dihasilkan hampir sama dengan yang diperoleh pada penelitian maka persamaan rumus yang digunakan menggunakan Persamaan Sigmoidal tersebut.

Nilai n merupakan fungsi dari pembentukan inti (nukleasi) dan pertumbuhan kristal CaCO_3 . Harga n berkisar antara 1 hingga 4 dimana laju konstan pada awal transformasi kemudian meningkat cepat dan akhirnya kembali konstan pada harga maksimum seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2.c (Jena *et al.*, 1992). Harga n dan K pada dapat diketahui dari persamaan garis yang diperoleh dari plot data dari penurunan rumus seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2.

Dimana, Sumbu y = $\ln \ln \left(\frac{1}{1-Y} \right)$ dan Sumbu x = $\ln t$

Nilai $\ln K$ merupakan intersep dari persamaan garis linier $\ln \ln (1/1-Y)$ terhadap nilai $\ln (t)$, sedangkan nilai n merupakan slope dari persamaan garis linier tersebut. Selanjutnya nilai tetapan laju k didapat dari nilai K dan n .

Berdasarkan persamaan reaksi pembentukan CaCO_3 diatas maka digunakan untuk mendapatkan model kinetika empiris dalam menggambarkan presipitasi CaCO_3 sebagai fungsi waktu dan mendapatkan nilai energi aktivasi dan konstanta laju reaksi dari model kinetika empiris presipitasi CaCO_3 .

Secara empiris energi aktivasi Q^* adalah parameter yang sangat penting dalam suatu eksperimen. Yield dari temperatur tergantung pada laju transformasi. Estimasi dari besarnya energi aktivasi berguna untuk mengetahui mekanisme transformasi. Q^* dihubungkan dengan energi entalpi ΔH^* dari keseluruhan proses atomik yang merupakan proses transformasi. Hal tersebut memungkinkan untuk menarik kesimpulan dari mekanisme transformasi jika hubungan fungsional antara Q^* dan ΔH^* diketahui.

Transformasi Energi aktivasi dapat dihitung menggunakan data eksperimen pada transformasi kinetik dengan beberapa cara. Pada penelitian ini menggunakan cara berdasarkan laju konstanta yaitu pada Persamaan 2.4 sebagai berikut :

$$\ln k = \ln k_0 - (Q^*) \cdot \frac{1}{RT}$$

Jika sudah diplotkan maka didalam Grafik akan diperoleh untuk sumbu y yaitu $\ln K$ dan sumbu x yaitu $\frac{1}{RT}$ dan nilai Q^* dapat diperoleh dari nilai slope, sehingga kita dapat menghitung energi aktivasi dari hasil data tersebut.

3.4 Simulasi Model Persamaan Laju Presipitasi CaCO_3

Suatu model Persamaan presipitasi CaCO_3 dikembangkan melalui suatu mekanisme presipitasi CaCO_3 secara global yang dipengaruhi oleh beberapa variabel proses. Pada penelitian ini mengacu pada beberapa variabel proses yaitu : meliputi kuat medan magnet, waktu magnetisasi, laju alir sirkulasi, suhu, konsentrasi larutan, dan panjang medan magnet.

Untuk memodelkan persamaan presipitasi CaCO_3 , dilakukan pendekatan regresi sehingga didapatkan suatu model persamaan sebagai fungsi variabel-variabel proses tersebut.

3.4.1 Regresi data variabel proses dari model Persamaan empiris yang dihasilkan

Dari persamaan yang didapat, dibuat grafik antara $\ln k$ terhadap $1/RT$ sebagai terhadap fungsi variabel temperatur dan diperoleh grafik hubungan antara $\ln t$ dan $\ln \ln \left(\frac{1}{1-Y} \right)$ terhadap semua variabel dari data hubungan antara persen presipitasi CaCO_3 terhadap waktu presipitasinya. Jika data yang diperoleh tidak cocok dengan grafik Sigmoidal maka persamaan yang digunakan bukan Persamaan Sigmoidal (Gambar 2.2 c). Dari grafik yang dihasilkan akan diperoleh beberapa persamaan model empiris kemudian dari grafik hasil regresi tersebut akan diperoleh nilai a sebagai fungsi intersep dari $\ln K$ dan b sebagai fungsi slope dari n serta nilai koefisien korelasinya (R^2). Batas minimum nilai koefisien korelasinya yaitu 0,96, jika nilai yang dihasilkan kurang dari batas minimum maka dilakukan pemilihan persamaan kinetika lain yang lebih sesuai.

3.4.2 Perhitungan larutan CaCO_3 Magnet dan non magnet

Perhitungan data analisis dapat dilakukan dengan melakukan penurunan rumus kinetika dari Persamaan 2.1 dan 2.2 kemudian dihubungkan terhadap beberapa parameter analisis sebagai berikut :

1. Setelah diperoleh data maka diplotkan grafik antara $\ln (t)$ terhadap

$$\ln \ln \left(\frac{1}{1-Y} \right)$$

2. Kemudian dicari persamaan empirisnya $Y = ax + b$ dari Persamaan 2.2 maka,

$$\text{Sumbu } Y = \ln \ln \left(\frac{1}{1-Y} \right) \text{ dan Sumbu } X = \ln t$$

3. Lalu dengan diketahuinya persamaan reaksi tersebut maka dapat dihitung laju konstanta (k) dengan menggunakan Persamaan 2.3.

4. Setelah diketahui parameter kinetik, k maka besarnya energi aktivasi dapat dihitung dari persamaan 2.4. sebagai berikut :

$$\ln k = \ln k_0 - Q^* \left(\frac{1}{RT} \right),$$
$$Y = b + a x$$

Dari hubungan persamaan diatas maka energi aktivasi diperoleh dari hubungan persamaan garis $Y = b + a x$, yang diketahui dari nilai a yaitu slope dari grafik yang dihasilkan sedangkan nilai $\ln k_0$ sebagai fungsi dari intersep.



BAB 4 PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan membahas tentang kinetika presipitasi CaCO_3 dari beberapa parameter CaCO_3 menggunakan persamaan model kinetika empiris Sigmoidal. Data kinetika diambil dari berbagai kondisi operasi yang meliputi suhu magnetisasi, lamanya magnetisasi, konsentrasi, panjang magnet, kuat medan magnet, laju alir dan waktu sirkulasi. Dari data tersebut dihitung untuk mengetahui nilai energi aktivasi, nilai konstanta laju reaksi dan nilai koefisien korelasi (R^2) yang mempengaruhi laju kinetika presipitasi CaCO_3 .

Dalam bab ini hanya membahas mengenai hasil yang telah diperoleh dan analisisnya. Keterangan lain seperti data dan hasil pengolahan data ada pada Lampiran.

4.1 Model Persamaan Kinetika Empiris

Studi kinetika presipitasi CaCO_3 merupakan salah satu kajian yang perlu dilakukan guna mendapatkan pemahaman tentang pengaruh medan magnet terhadap parameter kinetika yang meliputi tetapan laju reaksi dan energi aktivasi. Model kinetika yang dipakai menggunakan model persamaan kinetika empiris dengan mengacu terhadap pengaruh suhu magnetisasi.

Persamaan kinetika presipitasi pembentukan CaCO_3 ini menggunakan model persamaan kinetika empiris dengan bentuk Grafik Sigmoidal seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1.

Berdasarkan Persamaan 2.1, nilai n dan K dapat dihitung dengan penurunan rumus menjadi Persamaan 2.2. Dimana nilai $\ln K$ merupakan intersep dari persamaan garis linier $\ln (1/1-Y)$ terhadap nilai $\ln (t)$, sedangkan nilai n merupakan kelandaian Persamaan garis linier tersebut. Selanjutnya nilai tetapan laju k didapat dari nilai K dan n . Sehingga harga k dapat diperoleh dengan penurunan rumus dari Persamaan 2.2 menjadi Persamaan 2.3.

Nilai n merupakan fungsi dari pembentukan inti (nukleasi) dan pertumbuhan kristal CaCO_3 . Harga n berkisar antara 1 hingga 4 dimana laju

konstan pada awal transformasi kemudian meningkat cepat dan akhirnya kembali konstan pada harga maksimum seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2.c (Jena *et al.*, 1992)

4.2 Kinetika Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2 Termagnetisasi Sistem Fluida Statik

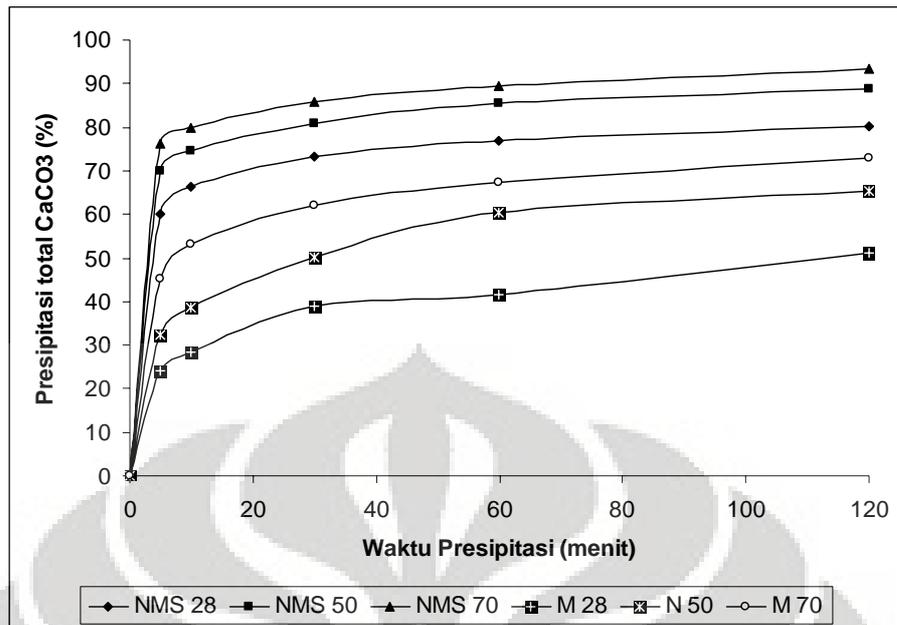
Sistem fluida statik yaitu sistem dengan sampel air tidak bergerak saat dimagnetisasi. Sampel yang digunakan adalah sampel non magnetisasi dan sampel termagnetisasi. Variabel proses yang dilakukan pada sistem statik ini antara lain :

- a. Suhu magnetisasi untuk mengetahui nilai energi aktivasi dan konstanta laju reaksi
- b. Kuat medan magnet untuk mengetahui nilai konstanta laju reaksi
- c. Konsentrasi larutan untuk untuk mengetahui nilai konstanta laju reaksi

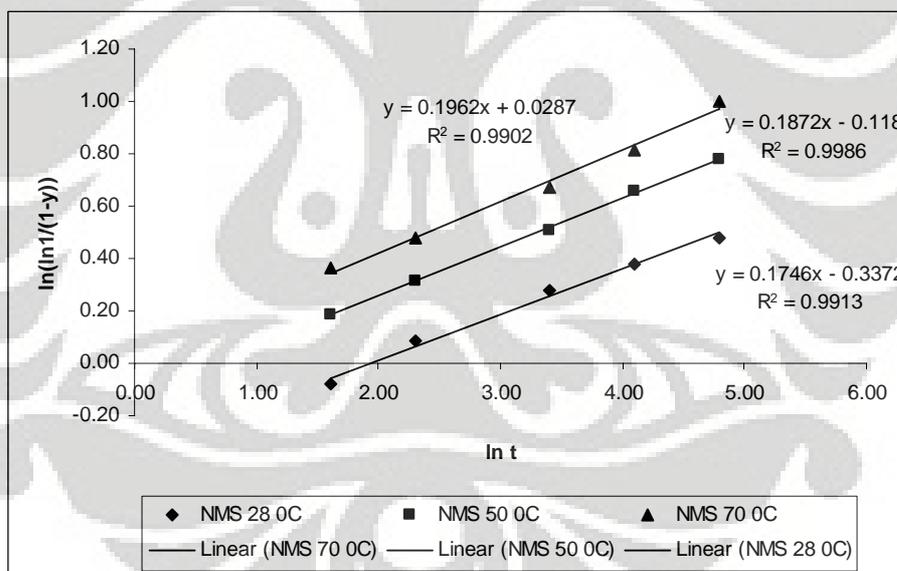
Data-data penelitian diperoleh dari data percobaan dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan Persamaan Sigmoidal untuk mengetahui parameter kinetik dan dianalisis pengaruhnya terhadap laju presipitasi CaCO_3 .

4.2.1 Perhitungan Parameter Kinetik

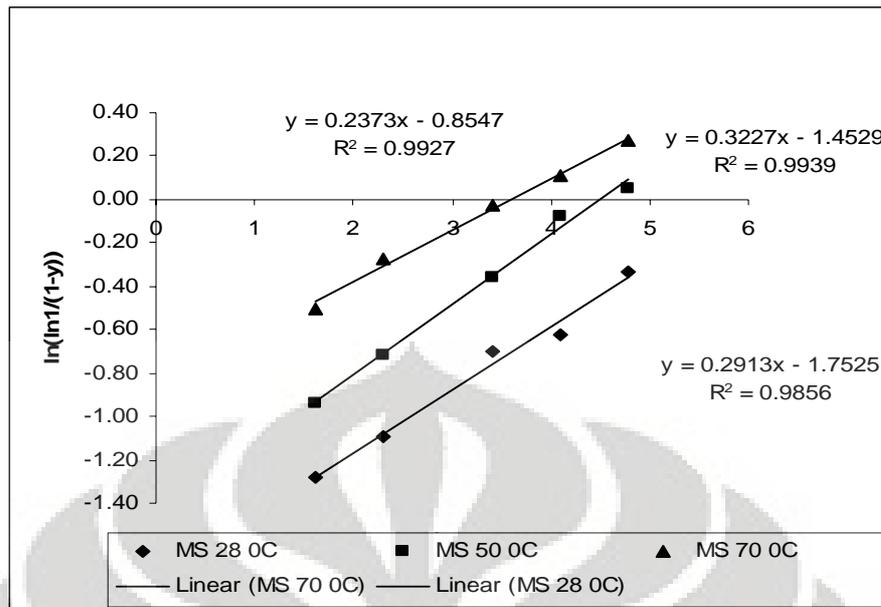
Dalam sistem fluida statik menggunakan sampel non-magnetisasi (NMS) dan sampel termagnetisasi (MS). Berdasarkan data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.1 sebagai tahap awal untuk perhitungan selanjutnya.



Grafik 4.1 Pengaruh suhu pada presipitasi total CaCO_3 untuk sampel non-magnetisasi (NMS) dan sampel termagnetisasi (MS) dengan waktu presipitasi Na_2CO_3



Gambar 4.2a Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/(1-Y))$ terhadap $\ln(t)$ pada sistem statik untuk sampel non-magnetisasi (NMS)



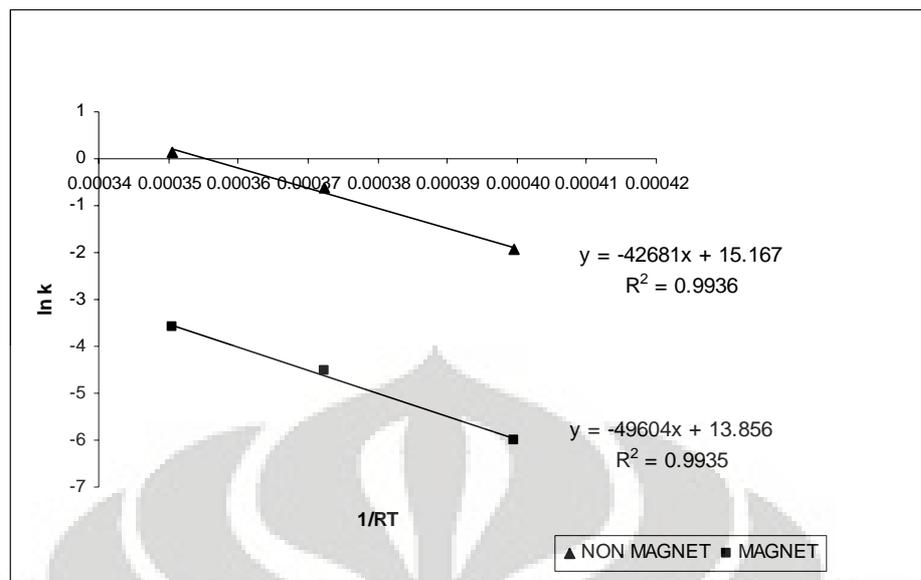
Gambar 4.2b Grafik Persamaan linier $\ln \ln(1/(1-Y))$ terhadap $\ln(t)$ pada sistem fluida statik untuk sample termagnetisasi

Setelah diperoleh data pada Gambar 4.1 kemudian dilakukan pengolahan data diperoleh grafik linier $\ln \ln(1/(1-Y))$ terhadap $\ln(t)$ dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2.2 terlihat pada Gambar 4.2a dan Gambar 4.2b.

Kemudian untuk perhitungan harga k_0 dan E_a diturunkan dari Persamaan Arrheniuss (Persamaan 2.4) sebagai berikut :

$$\ln k = \ln k_0 - (E_a) \cdot \frac{1}{RT}$$

Harga k_0 didapat dari tetapan persamaan garis linier $\ln k$ terhadap $1/RT$, sedangkan nilai E_a didapat dari kelandaian (slope) persamaan garis linier $\ln k$ terhadap $1/RT$ seperti yang ditunjukkan Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik persamaan linier $\ln k$ terhadap $1/RT$ pada sampel non-magnetisasi dan sampel termagnetisasi

Dari Gambar 4.3 dapat disimpulkan dalam Tabel 4.1 mengenai parameter kinetika yang diperoleh dari persamaan garis yang dihasilkan yaitu :

Tabel 4.1 Nilai tetapan laju presipitasi CaCO_3 (k), faktor frekuensi tumbukan (k_0), dan energi aktivasi pembentukan CaCO_3 (E_a)

Kode sampel	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Persamaan Regresi $Y = bx + a$	Koefisien Korelasi (R^2)	Nilai k (min^{-1})	$\ln k_0$ (min^{-1})	E_a (kJ/mol)
NMS	28	$Y = 0,1746x - 0,3372$	0,9913	0,14496	15,167	42,681
NMS	50	$Y = 0,1872x - 0,118$	0,9986	0,53241		
NMS	70	$Y = 0,1962x + 0,0287$	0,9902	1,15752		
MS	28	$Y = 0,2913x - 1,7525$	0,9856	0,00244	13,856	49,604
MS	50	$Y = 0,3227x - 1,4529$	0,9939	0,01108		
MS	70	$Y = 0,2373x - 0,8547$	0,9927	0,02728		

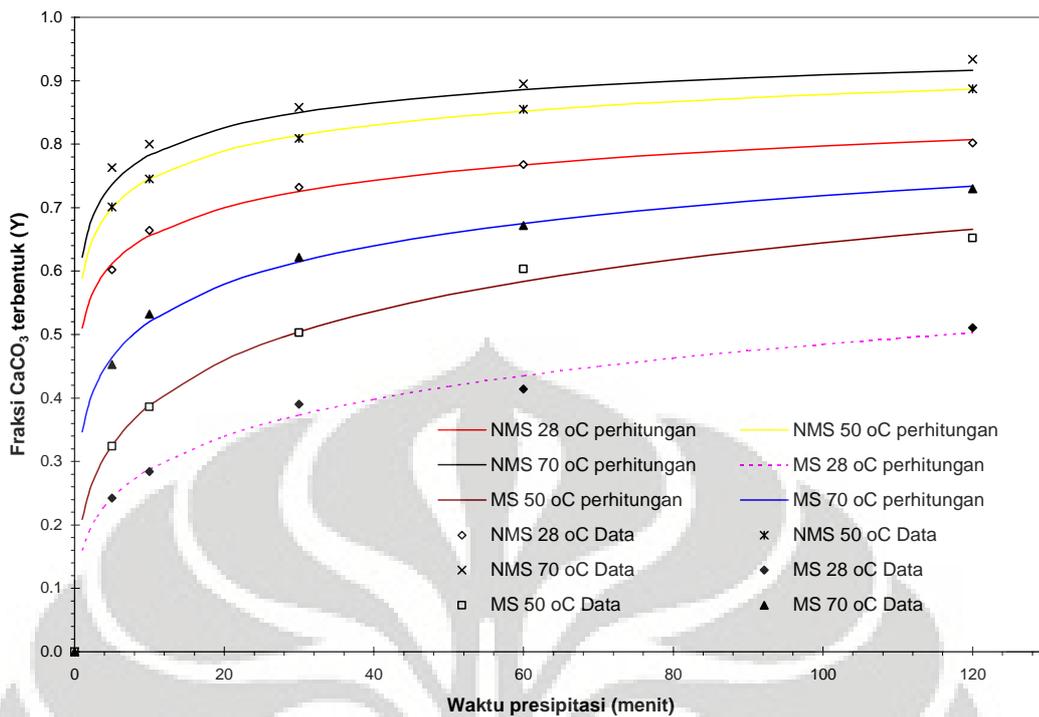
Dari Tabel diatas diketahui nilai korelasi (R^2) berkisar antara 0,98 hingga 0,99 yang menunjukkan hasil yang dihitung dengan persamaan Sigmoidal diperoleh cukup baik.

Selain itu dari Gambar 4.2a dan 4.2b menunjukkan harga n (slope) berada pada nilai 0,1746 hingga 0,3227. Nilai n yang diperoleh sangat kecil karena lebih rendah dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi presipitasi CaCO_3 terjadi sangat cepat di awal presipitasi (tahap nukleasi) yang disebabkan tingginya nukleasi CaCO_3 di fasa larutan sehingga harga n yang didapat lebih rendah dari 1.

Presipitasi CaCO_3 pada tahap awal merupakan proses pembentukan inti (nukleasi) yang kurang stabil dan selanjutnya akan membentuk kristal yang lebih stabil (*crystal growth*). Hal ini didukung oleh Wang (1997) dengan menggunakan model persamaan kinetika Grafik Sigmoidal mendapatkan harga n sebesar 0,24 untuk proses transformasi melanterite menjadi hematite. Nilai n yang lebih rendah dari 1 ini, menurutnya disebabkan laju nukleasi yang tinggi di awal reaksi.

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan harga E_a pada sampel non-magnetisasi sebesar 42,681 kJ/mol yang berarti lebih kecil dibanding sampel termagnetisasi sebesar 49,604 kJ/mol. Harga E_a yang lebih tinggi pada sampel termagnetisasi memperkuat kesimpulan bahwa magnetisasi menekan proses presipitasi CaCO_3 . Sebagai perbandingan, harga E_a presipitasi CaCO_3 tanpa medan magnet yang telah dilaporkan oleh peneliti lain mendapatkan nilai sebesar 46,9 kJ/mol pada rentang suhu 25 – 70 °C dengan pH 7 – 9 (Dawe *et al.*, 1997). Harga E_a tanpa magnetisasi yang lebih rendah dalam percobaan ini dapat disebabkan pH larutan yang digunakan dalam percobaan ini berkisar 9 – 10.

Dari data diatas menunjukkan dengan variasi suhu pada fluida statik diperoleh bahwa semakin tinggi suhu maka nilai presipitasi yang dihasilkan semakin tinggi pula. Hal ini dikarenakan dengan menaikkan suhu maka energi kinetik molekul-molekul zat yang bereaksi akan bertambah sehingga akan lebih banyak molekul yang memiliki energi sama atau lebih besar dari E_a . Dengan demikian lebih banyak molekul yang dapat mencapai keadaan transisi atau dengan kata lain kecepatan reaksi menjadi lebih besar. Hal ini didukung oleh Chibowski (2003), bahwa peningkatan temperatur akan menyebabkan laju presipitasi CaCO_3 pada fasa larutan akan meningkat dan jenis kristal yang dominan terbentuk adalah aragonit yang tidak mudah menempel pada permukaan logam. Hal ini sesuai dengan mekanisme pembentukan kristal aragonit yang lebih mudah terbentuk pada suhu diatas 60 °C (Kobe *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 1999) sehingga dapat dikatakan bahwa dengan kenaikan suhu dapat menurunkan kelarutan CaCO_3 mengakibatkan kesetimbangan bergeser kearah pembentukan CaCO_3 dan menunjukkan bahwa penurunan efek magnet dalam menekan presipitasi dengan naiknya suhu.



Gambar 4.4 Grafik fraksi CaCO₃ terbentuk (Y) hasil perhitungan dan data percobaan untuk sampel non-magnetisasi statik (NMS) dan sampel termagnetisasi statik (MS)

Berdasarkan data kinetika pada Tabel 4.1, maka dapat digambarkan fraksi mol CaCO₃ yang terbentuk (Y), fungsi suhu larutan (T) dan waktu presipitasi (t) untuk sampel termagnetisasi (Gambar 4.3) menggunakan Persamaan 4.1 dan sampel non-magnetisasi menggunakan Persamaan 4.2 pada sistem fluida statik sebagai berikut:

$$Y = 1 - \exp(-Kt^n) = 1 - \exp\left[-\left(k_0 e^{\frac{Ea}{RT}} t\right)^n\right] = 1 - \exp\left[-\left(3609212 \cdot e^{\frac{-42681}{8,314T}} t\right)^n\right] \dots\dots (4.1)$$

dimana, harga n = 0,1746; 0,1872; dan 0,1962 untuk suhu T = 301 K; 323 K; dan 343 K.

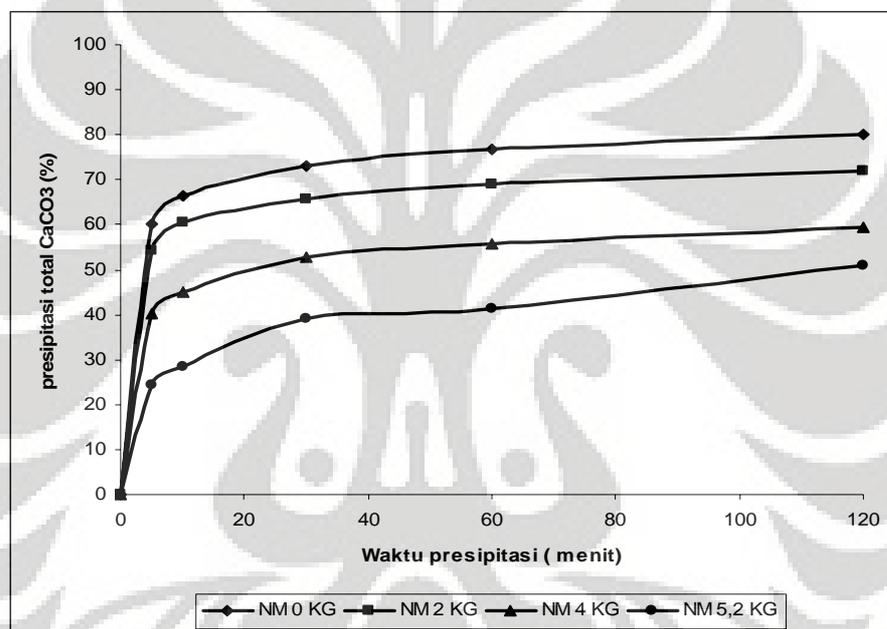
$$Y = 1 - \exp(-Kt^n) = 1 - \exp\left[-\left(k_0 e^{\frac{Ea}{RT}} t\right)^n\right] = 1 - \exp\left[-\left(3609212 \cdot e^{\frac{-49604}{8,314T}} t\right)^n\right] \dots\dots (4.2)$$

dimana, harga n = 0,2913; 0,3227; dan 0,2373 untuk suhu T = 301 K; 323 K; dan 343 K.

Sesuai dengan Gambar 4.4 diperoleh hasil yang cukup baik dengan linerisasi ditunjukkan dari harga koefisien korelasi (R^2) yang dihasilkan berkisar 0,98 – 0,99, mendekati 1. Jadi, model persamaan tersebut dikatakan cukup baik dalam mengolah data diatas untuk memperoleh parameter kinetik.

4.2.2 Pengaruh Kuat Medan Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Berdasarkan data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.5 sebagai tahap awal untuk perhitungan kinetika selanjutnya.



Gambar 4.5. Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi kuat medan pada waktu presipitasi CaCO_3

Tabel 4.2 Harga tetapan laju k pada berbagai kuat medan

Parameter kinetika	NM	2 kG	4 kG	5,2 kG
Ln K	-0,3372	-0,4534	-0,9199	-1,7525
n	0,1746	0,1488	0,1753	0,2913
k (min^{-1})	0,1449	0,0475	0,0053	0,0024
R^2	0,9913	0,9815	0,9899	0,9856

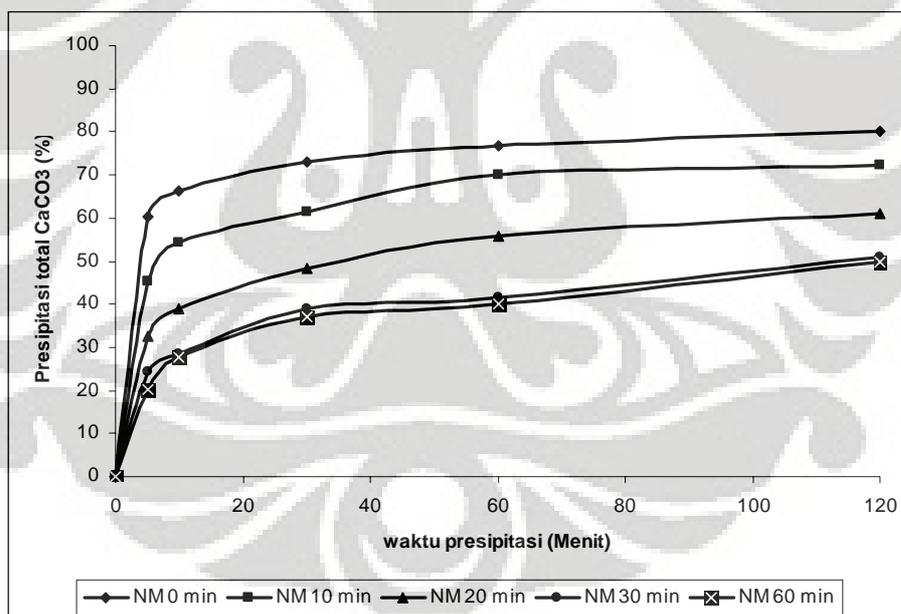
Dari Tabel diatas diketahui bahwa terjadi penurunan harga k dengan meningkatnya kuat medan dari $0,0475 \text{ min}^{-1}$ pada 2 kG menjadi $0,0024 \text{ min}^{-1}$ pada 5,2 kG. Hal ini menunjukkan bahwa makin besar kuat medan magnet yang

diberikan pada sampel maka akan semakin menurunkan laju presipitasi CaCO_3 . Dengan bertambahnya kuat magnet akan menaikkan energi interaksi hidrat ionnya yang terlihat dari makin menurunnya presipitasi total CaCO_3 yang terjadi. Grafik regresi untuk perhitungan parameter kinetika dapat dilihat pada Lampiran A 2.

Dari Gambar diatas diperoleh nilai $\ln K$, n dan k dari persamaan yang dihasilkan (dapat dilihat pada Tabel 4.2) dan data tersebut menghasilkan nilai korelasi (R^2) berkisar antara 0,98 hingga 0,99 yang menunjukkan linierisasi dari persamaan laju ini sehingga model persamaan tersebut dikatakan cukup baik dalam mengolah data diatas untuk memperoleh parameter kinetika.

4.2.3 Pengaruh Waktu Magnetisasi Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Berdasarkan data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.6 sebagai tahap awal untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 4.6. Persen presipitasi total CaCO_3 pada berbagai waktu magnetisasi CaCO_3

Tabel 4.3. Harga tetapan laju k pada berbagai waktu magnetisasi

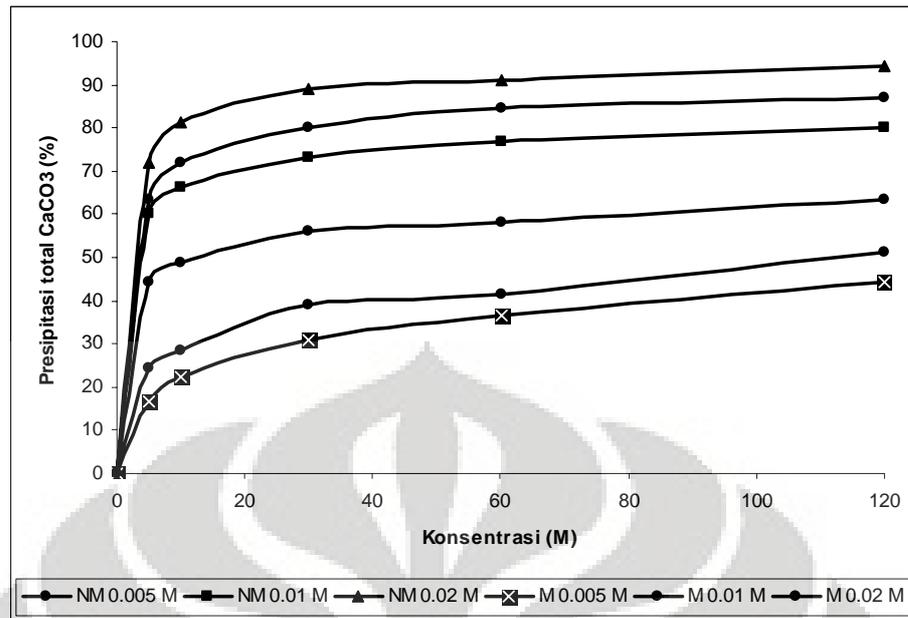
Parameter Kinetika	Waktu magnetisasi				
	NM	10 menit	20 menit	30 menit	60 menit
Ln K	-0,3372	-0,8395	-1,3626	-1,7525	-1,9558
n	0,1746	0,2363	0,2772	0,2913	0,3306
k (min^{-1})	0,1450	0,0287	0,0073	0,0024	0,0027

Tabel 4.3 menunjukkan terjadi penurunan harga k dengan bertambahnya waktu magnetisasi dari $0,0287 \text{ min}^{-1}$ pada 10 menit magnetisasi menjadi $0,0027 \text{ min}^{-1}$ pada 60 menit magnetisasi. Hal ini menunjukkan bahwa makin besar waktu magnetisasi maka akan semakin rendah laju presipitasi CaCO_3 . Tidak terjadi penurunan yang signifikan pada harga k untuk magnetisasi di atas 30 menit. Kenaikan kuat medan dan waktu magnetisasi berdampak langsung pada penguatan interaksi hidrat ion sehingga presipitasi ion CO_3^{2-} dan Ca^{2+} semakin sulit terjadi sehingga berpengaruh terhadap penurunan nilai k . Jadi diketahui bahwa dengan bertambahnya waktu magnetisasi menyebabkan menurunnya presipitasi CaCO_3 sehingga nilai tetapan laju presipitasi semakin kecil. Grafik regresi untuk perhitungan parameter kinetika dapat dilihat pada Lampiran A 3.

Dari Tabel 4.3 diperoleh nilai $\ln K$, n dan k dari persamaan yang dihasilkan (dapat dilihat pada Tabel 4.3) dan data tersebut diperoleh hasil yang cukup baik ditunjukkan dari harga koefisien korelasi (R^2) yang dihasilkan berkisar $0,97 - 0,99$, mendekati 1. sehingga dapat dikatakan model persamaan tersebut cukup baik digunakan untuk memperoleh parameter kinetik.

4.2.4 Pengaruh Konsentrasi Larutan Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Berdasarkan data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.7 sebagai tahap awal untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 pada persen presipitasi total CaCO_3 .

Tabel 4.4. Harga parameter kinetika terhadap pengaruh konsentrasi

Parameter kinetika	n	ln K	K	k (min^{-1})
NM 0,005 M	0,1668	-0,7923	0,4528	0,0087
NM 0,01 M	0,1746	-0,3372	0,7138	0,1450
NM 0,02 M	0,2440	-0,0925	0,9116	0,6845
M 0,005 M	0,3563	-2,2322	0,1073	0,0019
M 0,01 M	0,2913	-1,7525	0,1733	0,0024
M 0,02 M	0,2218	-0,3047	0,7373	0,2532

Tabel 4.5. Harga tetapan laju k pada berbagai konsentrasi sampel larutan

Tetapan laju	Konsentrasi sampel		
	0,005 M	0,001 M	0,02 M
k non-magnet [k_{nm}](min^{-1})	$8,6 \cdot 10^{-3}$	0,145	0,685
k magnet [k_m](min^{-1})	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,002	0,253
% penurunan k : $100 * (k_{nm} - k_m) / k_{nm}$	99,98	98,32	63,02

Dari Tabel 4.5 diperoleh nilai ln K, n dan k dari persamaan yang dihasilkan dan data tersebut menghasilkan nilai korelasi (R^2) berkisar antara 0,97 hingga 0,99 yang menunjukkan bahwa model persamaan tersebut dikatakan cukup baik dalam mengolah data tersebut untuk memperoleh parameter kinetika.

Berdasarkan Tabel diatas menunjukkan pula terjadi peningkatan harga k dengan bertambahnya konsentrasi dari 0,005 M menjadi 0,02 M, baik pada sampel non magnetisasi maupun pada sampel termagnetisasi. Bertambahnya konsentrasi ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dalam larutan akan menyebabkan peningkatan interaksi ion-ion menjadi lebih dominan dibanding efek penguatan hidrat ion dari medan magnet. Hal ini ditunjukkan dengan semakin rendahnya persen penurunan harga k seiring bertambahnya konsentrasi sampel. Oleh sebab itu, efek medan magnet akan semakin berkurang dalam menekan laju presipitasi CaCO_3 dengan meningkatnya konsentrasi sampel. Terjadi penurunan konstanta laju reaksi sebesar 99,98 % pada konsentrasi 0,005 M hingga 63,02 % pada konsentrasi 0,02 M. Jadi dengan bertambahnya konsentrasi dari sampel termagnetisasi dan non-magnetisasi akan menurunkan laju konstanta laju reaksi dilihat dari Tabel 4.5. Grafik regresi untuk perhitungan parameter kinetika dapat dilihat pada Lampiran A 4.

4.3 Kinetika Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2 Termagnetisasi Sistem Fluida Dinamik

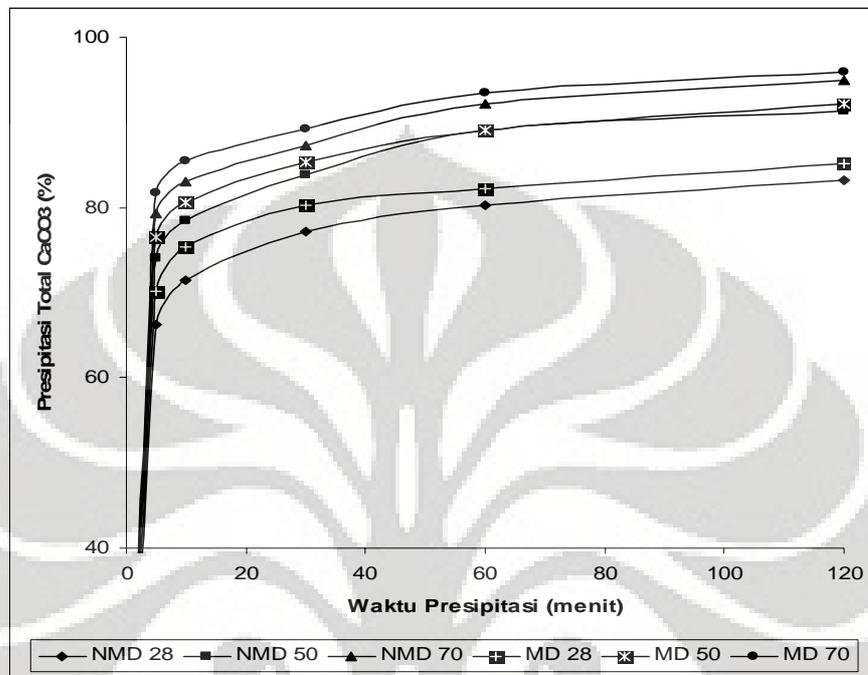
Sistem fluida dinamik yaitu sistem dengan sampel air bergerak melewati medan magnet. Sampel yang digunakan adalah sampel non-magnetisasi dan sampel termagnetisasi. Variabel proses yang dilakukan pada sistem dinamik ini antara lain :

- a. Suhu magnetisasi untuk mengetahui nilai energi aktivasi dan konstanta laju reaksi
- b. Laju alir sirkulasi untuk mengetahui nilai konstanta laju reaksi
- c. Waktu sirkulasi untuk mengetahui nilai konstanta laju reaksi
- d. Panjang magnet untuk mengetahui nilai konstanta laju reaksi

Data-data penelitian diperoleh dari data percobaan dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan Persamaan Sigmoidal untuk mengetahui parameter kinetik dan dianalisis pengaruhnya terhadap laju presipitasi CaCO_3 .

4.3.1 Perhitungan Parameter Kinetik

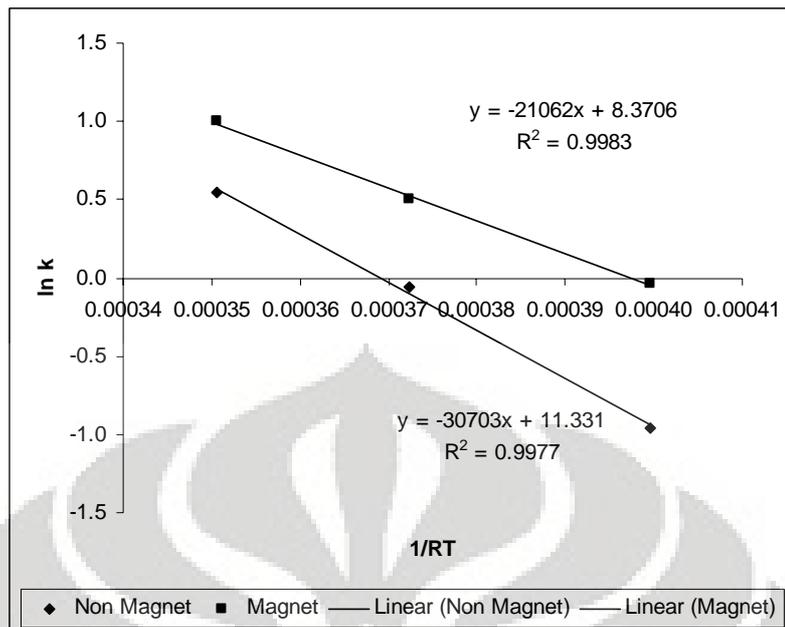
Dalam sistem fluida statik menggunakan sampel non-magnetisasi (NMS) dan sampel termagnetisasi (MS). Dari data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.8 sebagai tahap awal untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 4.8. Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi suhu pada waktu presipitasi CaCO_3

Setelah diperoleh data pada Gambar 4.12 kemudian dilakukan pengolahan data diperoleh grafik linier $\ln \ln(1/1-Y)$ terhadap $\ln(t)$ dari hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2.2 dapat dilihat pada Lampiran B 1.

Kemudian untuk perhitungan harga k_0 dan E_a diturunkan dari Persamaan 2.4 Harga k_0 didapat dari tetapan persamaan garis linier $\ln k$ terhadap $1/RT$, sedangkan nilai E_a didapat dari kelandaian (slope) persamaan garis linier $\ln k$ terhadap $1/RT$ seperti yang ditunjukkan Gambar 4.9.



Grafik 4.9 Grafik Persamaan linier $\ln k$ terhadap $1/RT$ pada sampel non-magnetisasi dan sampel termagnetisasi

Tabel 4.6 Nilai tetapan laju presipitasi CaCO_3 (k), faktor frekuensi tumbukan (k_0), dan Energi aktivasi pembentukan CaCO_3 (E_a) untuk sampel termagnetisasi (MD) dan non-magnetisasi (NMD) pada sistem fluida dinamik

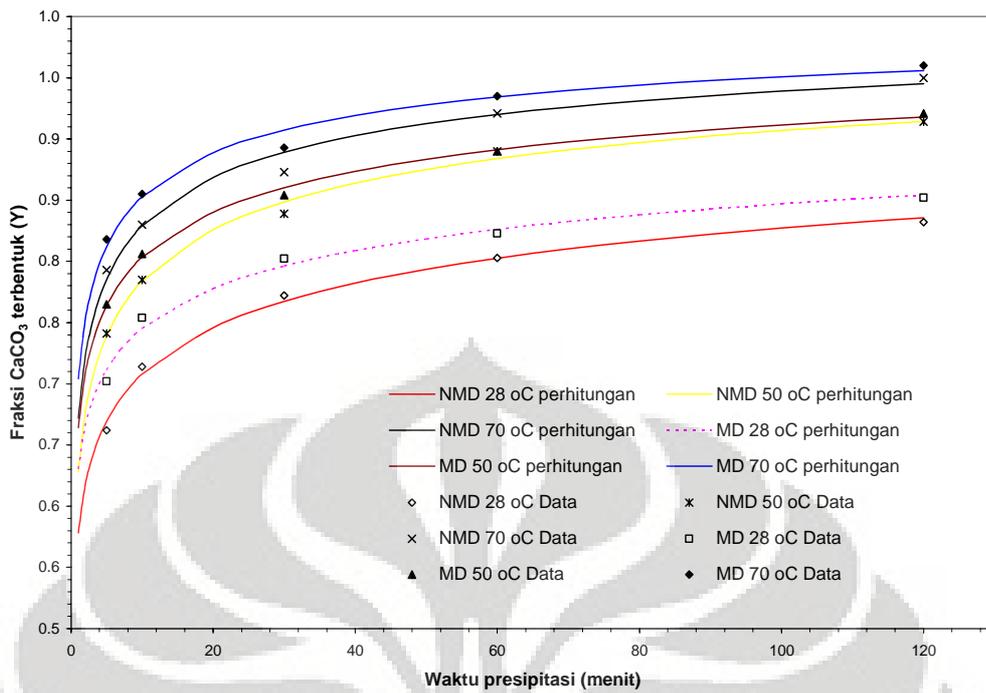
Kode Sampel	Suhu (°C)	Persamaan Regresi $Y = ax + b$	Koefisien Korelasi (R^2)	Nilai k (min^{-1})	$\ln k_0$ (min^{-1})	E_a (kJ/mol)
NMD	28	$Y = 0,1542x - 0,1474$	0,99	0,384	11,33	30,703
NMD	50	$Y = 0,1902x - 0,0115$	0,99	0,941		
NMD	70	$Y = 0,1999x + 0,1083$	0,98	1,179		
MD	28	$Y = 0,1378x - 0,0048$	0,98	0,966	8,37	21,062
MD	50	$Y = 0,1733x + 0,0872$	0,99	1,654		
MD	70	$Y = 0,1968x + 0,1965$	0,98	2,714		

Tabel 4.6 menunjukkan untuk sampel larutan termagnetisasi memiliki harga k yang lebih tinggi dibanding larutan non-magnetisasi. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnet sistem fluida dinamik mendorong laju presipitasi CaCO_3 .

Dan pada Tabel 4.6 menunjukkan pula harga E_a pada sampel non magnetisasi sebesar 30,703 kJ/mol yang berarti lebih tinggi dibanding pada sampel termagnetisasi yang sebesar 21,062 kJ/mol. Harga E_a yang lebih rendah pada sampel termagnetisasi menunjukkan bahwa magnetisasi fluida dinamik mendorong proses presipitasi CaCO_3 . Pelemahan interaksi hidrat ion dan dibuktikan dengan meningkatnya laju presipitasi CaCO_3 serta menurunnya nilai energi aktivasi.

Berdasarkan Lampiran B 1 menunjukkan harga n berada pada nilai 0,1378 hingga 0,1999. Nilai n yang diperoleh sangat kecil karena lebih rendah dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi presipitasi CaCO_3 terjadi sangat cepat di awal presipitasi (tahap nukleasi) yang disebabkan tingginya laju nukleasi CaCO_3 di fasa larutan dan menunjukkan bahwa data yang digunakan cocok dengan Persamaan Sigmoidal yang digunakan dalam perhitungan. Nilai n tersebut menunjukkan terjadinya fenomena fisik pembentukan nukleasi dan kristal *growth*. Nilai n untuk sistem fluida statik dan dinamik sama-sama mendapatkan nilai n yang lebih rendah dari 1 yang menunjukkan terjadi laju nukleasi yang sangat cepat diawal reaksi. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan sistem fluida statik, nilai n untuk sistem fluida statik lebih besar daripada nilai n untuk fluida dinamik. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya laju nukleasi pada awal presipitasi untuk sistem fluida dinamik lebih cepat dibandingkan dengan sistem fluida statik.

Harga E_a pada sistem fluida dinamik (sirkulasi) menunjukkan nilai yang lebih rendah dibanding sistem fluida statik (tanpa sirkulasi) untuk sampel non-magnetisasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.6. Hal ini menunjukkan agitasi mekanik (sirkulasi fluida) dapat menurunkan harga energi aktivasi presipitasi CaCO_3 dan proses sirkulasi tanpa medan magnet memperlemah interaksi hidrat ion sehingga meningkatkan presipitasi CaCO_3 .



Gambar 4.10 Grafik fraksi CaCO₃ terbentuk (Y) hasil perhitungan dan data percobaan untuk sampel non-magnetisasi dinamik (NMD) dan sampel termagnetisasi dinamik (MD)

Berdasarkan data kinetika dapat ditulis persamaan fraksi mol CaCO₃ yang terbentuk (Y), fungsi suhu larutan (T) dan waktu presipitasi (t) untuk sampel termagnetisasi (Persamaan 4.3) dan sampel non-magnetisasi (Persamaan 4.4) sistem fluida dinamik sebagai berikut :

$$Y = 1 - \exp \left[- \left(83283 \cdot e^{\frac{-30703}{8,314T}} t \right)^n \right] \dots\dots\dots (4.3)$$

dimana, harga n = 0,1542; 0,1902; dan 0,1999 untuk suhu T = 301 K; 323 K; dan 343 K.

$$Y = 1 - \exp \left[- \left(83283 \cdot e^{\frac{-21062}{8,314T}} t \right)^n \right] \dots\dots\dots (4.4)$$

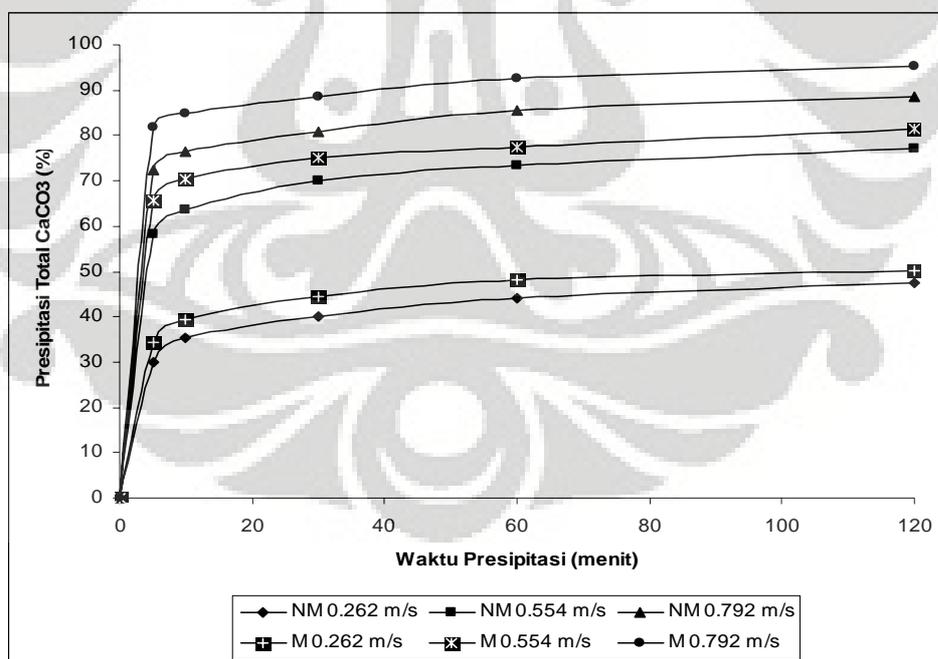
dimana, harga n = 0,1378; 0,1733; dan 0,1968 untuk suhu T = 301 K; 323 K; dan 343 K.

Berdasarkan Gambar 4.10 yang diperoleh menunjukkan bahwa perbandingan data hasil percobaan dan perhitungan menggunakan Persamaan 4.3 dan 4.4 dengan hasil perhitungan yang didapat cukup baik dalam memprediksi presipitasi CaCO_3 yang terjadi untuk rentang 120 menit waktu presipitasi dan suhu dari 301 hingga 343 K. Hasil yang cukup baik ini juga ditunjukkan dari harga koefisien korelasi (R^2) data percobaan dengan nilai yang berkisar dari 0,97 – 0,99 dengan menghitung menggunakan Persamaan Sigmoidal.

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat menjelaskan bahwa laju presipitasi CaCO_3 pada sistem fluida dinamik dipengaruhi oleh suhu presipitasi dan kuat medan dimana medan magnet mendorong laju presipitasi CaCO_3 .

4.3.2 Pengaruh Laju Alir Sirkulasi Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Berdasarkan data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.11 sebagai tahap awal untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 4.11 Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi laju alir pada waktu presipitasi CaCO_3

Tabel 4.7. Harga Parameter kinetika terhadap pengaruh laju alir

Laju Alir	Laju sirkulasi non magnet				Laju sirkulasi magnet			
	n	Ln K	K	k (min ⁻¹)	n	ln K	K	k (min ⁻¹)
0,2620	0,1805	-1,2869	0,2761	0,0008	0,1564	-1,0814	0,3391	0,0010
0,5540	0,1621	-0,3793	0,6843	0,0963	0,1337	-0,1303	0,8778	0,3774
0,7920	0,1628	-0,0165	0,9836	0,9036	0,1815	0,2129	1,2373	3,2317

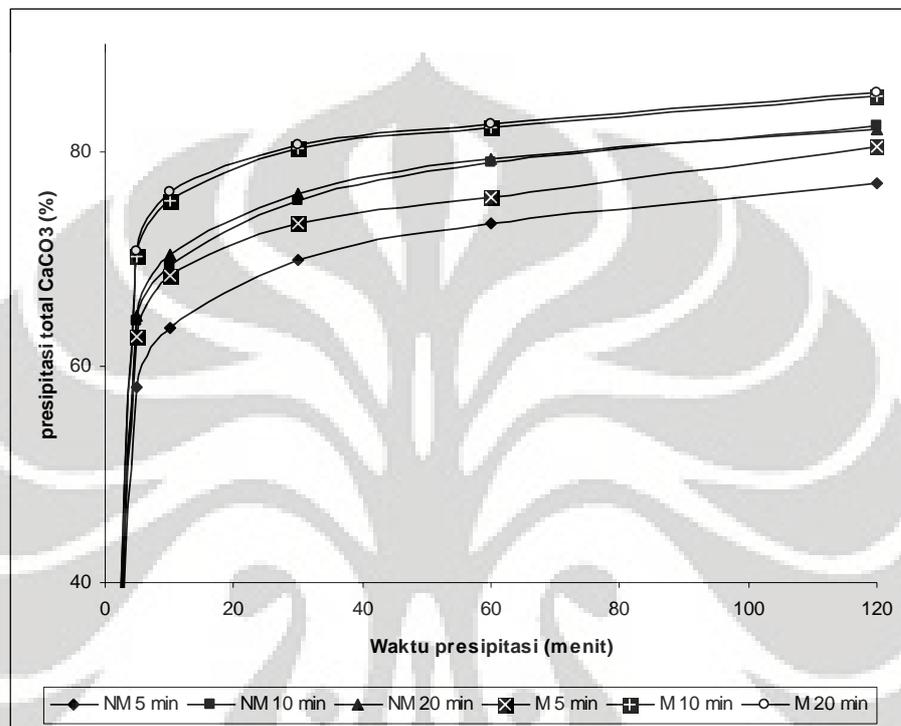
Tabel 4.8. Harga tetapan laju k pada berbagai laju alir alir sampel larutan

Tetapan laju	Laju alir sampel (m/s)		
	0,262 m/s	0,554 m/s	0,792 m/s
k non-magnet [k_{nm}](min ⁻¹)	0,0008	0,0963	0,9036
k magnet [k_m](min ⁻¹)	0,0010	0,3774	3,2317
% peningkatan k : 100* ($k_{nm} - k_m$)/ k_{nm}	24,0	291,7	257,6

Berdasarkan Tabel diatas diketahui bahwa nilai k pada sampel non-magnetisasi lebih tinggi dibanding harga k pada sampel termagnetisasi untuk kecepatan alir yang sama. Peningkatan k bertambah dari 24 % pada kecepatan alir 0,262 m/s menjadi 291,7 % pada kecepatan alir 0,554 m/s. Bertambahnya kecepatan alir akan menyebabkan efek medan magnet melalui gaya Lorentz menjadi lebih besar dalam menurunkan kekuatan hidrat ion CO_3^{2-} , sehingga akan meningkatkan laju presipitasi CaCO_3 . Selanjutnya persen peningkatan k menurun kembali menjadi 257,6 % pada kecepatan alir 0,792 m/s. Hal ini disebabkan dengan kecepatan tinggi, proses sirkulasi menjadi lebih cepat sehingga interaksi antar ion semakin cepat. Jadi dengan bertambahnya laju alir akan meningkatkan konstanta laju reaksi sebesar 257,6 % terhadap sampel termagnetisasi dan non magnetisasi. Grafik regresi untuk perhitungan parameter kinetika dapat dilihat pada Lampiran B 2.

4.3.3 Pengaruh Waktu Sirkulasi Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Berdasarkan data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.12 sebagai tahap awal untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 4.12 Persen presipitasi total CaCO_3 fungsi waktu sirkulasi pada waktu presipitasi CaCO_3

Tabel 4.9. Harga Parameter kinetika terhadap pengaruh waktu sirkulasi

T (menit)	Non magnet				Magnet			
	n	ln K	K	k (min^{-1})	n	ln K	K	k (min^{-1})
5	0,1621	-0,3793	0,6843	0,0963	0,1467	-0,2259	0,7978	0,2144
10	0,1629	-0,2206	0,8020	0,2582	0,1378	-0,0048	0,9952	0,9658
20	0,1546	-0,1824	0,8333	0,3073	0,1333	0,0242	1,0245	1,1991

Tabel 4.10. Harga tetapan laju k pada berbagai waktu sirkulasi

Tetapan laju	Waktu sirkulasi (t_s)		
	5 menit	10 menit	20 menit
k magnet [k_{nm}](min^{-1})	0,214	0,966	1,199
k non-magnet [k_m](min^{-1})	0,096	0,258	0,307
% peningkatan k : $100 * (k_{nm} - k_m) / k_m$	55,1	274,1	290,2

Menurut Fathi (2006), waktu sirkulasi berhubungan langsung dengan waktu magnetisasi. Waktu magnetisasi (t_m) adalah lamanya sampel terpapar medan magnet dan merupakan fungsi dari waktu sirkulasi (t_s), luas penampang dalam pipa (A), volume sampel (V), dan panjang magnet (L_m) yang dapat dirumuskan pada Persamaan (4.5) :

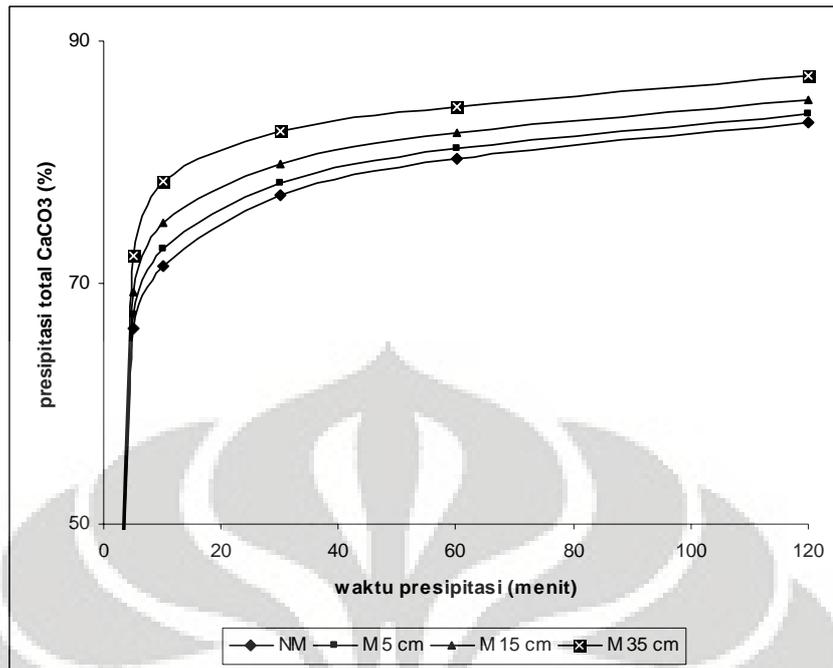
$$t_m = \frac{A L_m t_s}{V} \dots\dots\dots (4.5)$$

Meningkatnya waktu sirkulasi akan meningkatkan waktu magnetisasi secara proposional. sedangkan peningkatan kecepatan alir tidak mempengaruhi waktu magnetisasi.

Berdasarkan Tabel diatas menunjukkan bahwa medan magnet menaikkan laju presipitasi CaCO_3 yang ditunjukkan dengan harga k sampel termagnetisasi yang lebih besar dibanding harga k sampel non-magnetisasi. Persen peningkatan harga k bertambah dari 55,1 % pada waktu sirkulasi 5 menit menjadi 274,1 % pada waktu sirkulasi 10 menit. Penambahan persen peningkatan k pada waktu sirkulasi 20 menit dibanding waktu sirkulasi 10 menit relatif kecil. Hal ini dapat disebabkan kejenuhan sampel dalam menerima energi medan magnet. Grafik regresi untuk perhitungan parameter kinetika dapat dilihat pada Lampiran B 3.

4.3.4 Pengaruh Panjang Magnet Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Berdasarkan data penelitian diperoleh grafik hubungan antara persen presipitasi total CaCO_3 terhadap waktu presipitasi terlihat pada Gambar 4.13 sebagai tahap awal untuk perhitungan selanjutnya.



Gambar 4.13 Persen presipitasi total CaCO₃ fungsi panjang magnet pada waktu presipitasi CaCO₃

Tabel 4.8. Harga tetapan laju k pada berbagai panjang magnet

Panjang magnet	n	ln K	K	k (min ⁻¹)
NM	0,1542	-0,1474	0,86295	0,38447
5 cm	0,1511	-0,1057	0,89969	0,49682
15 cm	0,1466	-0,0431	0,95782	0,74528
35 cm	0,1396	0,0624	1,06439	1,56360

Berdasarkan Tabel diatas diketahui terjadi peningkatan nilai k dengan bertambahnya panjang magnet yang digunakan. Peningkatan k maksimum dicapai pada sampel yang menggunakan 35 cm. Hal ini menunjukkan bahwa efek medan magnet akan sangat terlihat pada kondisi tersebut. Nilai k, ln K dan K meningkat seiring dengan penambahan panjang magnet namun nilai n, sebaliknya menunjukkan nilai yang semakin berkurang. Dengan meningkatnya nilai konstanta laju dengan pertambahan magnet maka akan menyebabkan peningkatan presipitasi CaCO₃.

Berdasarkan grafik persamaan linier $\ln k$ terhadap $1/RT$ pada sampel non-magnetisasi dan sampel termagnetisasi dapat dilihat pada Lampiran B 4, diketahui harga koefisien korelasi (R^2) berkisar antara 0,97 hingga 0,99 yang menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh cukup baik dihitung dengan menggunakan Persamaan Sigmoidal.

Fathi (2006) menggunakan larutan CaCO_3 mendapatkan waktu optimum sirkulasi pada 15 menit dengan laju alir 0,94 L/menit dan panjang magnet 20 cm serta kuat medan 1600 Gauss. Hal ini menunjukkan bahwa magnetisasi pada air sadah akan mengalami kejenuhan pada harga laju alir, panjang magnet, dan kuat medan tertentu. Pengaruh panjang magnet pada presipitasi total CaCO_3 menunjukkan penambahan panjang magnet akan menambah presipitasi CaCO_3 . Penambahan jumlah magnet secara seri berarti menambah panjang magnet (L_m) sehingga menambah waktu magnetisasi (t_m) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (4.5).

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai studi kinetika presipitasi CaCO_3 dari larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Model kinetika empiris Persamaan Sigmoidal yang dihasilkan yaitu

- Untuk sistem fluida statik :

$$Y = 1 - \exp \left[- \left(3609212 \cdot e^{\frac{-42681}{8,314T} t} \right)^n \right] \text{ sampel termagnetisasi}$$

dimana $n = 0,1746; 0,1872; \text{ dan } 0,1962$ dan $T = 301 \text{ K}; 323 \text{ K}; \text{ dan } 343 \text{ K}$.

$$Y = 1 - \exp \left[- \left(3609212 \cdot e^{\frac{-49604}{8,314T} t} \right)^n \right] \text{ sampel non-magnetisasi}$$

dimana $n = 0,2913; 0,3227; \text{ dan } 0,2373$ dan $T = 301 \text{ K}; 323 \text{ K}; \text{ dan } 343 \text{ K}$.

- Untuk sistem fluida dinamik :

$$Y = 1 - \exp \left[- \left(83283 \cdot e^{\frac{-30703}{8,314T} t} \right)^n \right] \text{ sampel termagnetisasi}$$

dimana $n = 0,1542; 0,1902; \text{ dan } 0,1999$ dan $T = 301 \text{ K}; 323 \text{ K}; \text{ dan } 343 \text{ K}$.

$$Y = 1 - \exp \left[- \left(83283 \cdot e^{\frac{-21062}{8,314T} t} \right)^n \right] \text{ sampel non-magnetisasi}$$

dimana $n = 0,1378; 0,1733; \text{ dan } 0,1968$ dan $T = 301 \text{ K}; 323 \text{ K}; \text{ dan } 343 \text{ K}$.

2. Terjadi penurunan konstanta laju reaksi (k) dengan naiknya kuat medan dan lama magnetisasi pada sistem fluida statik, sedangkan untuk sistem fluida dinamik terjadi kenaikan harga k dengan bertambahnya laju alir, panjang magnet, dan waktu sirkulasi.

3. Nilai E_a untuk sistem fluida statik pada sampel termagnetisasi sebesar 42,681 kJ/mol lebih rendah dibandingkan dengan sampel non-magnetisasi sebesar 49,604 kJ/mol, sementara untuk sistem fluida dinamik pada sampel termagnetisasi sebesar 30,703 kJ/mol lebih besar dibandingkan dengan sampel non-magnetisasi sebesar 21,062 kJ/mol.



REFERENSI

- Abdel-Aal, K. Satoh, K. Sawada., *Study of the adhesion mechanism of CaCO₃ using a combined bulk chemistry/QCM Technique*, *Journal of Crystal Growth*, 24587–100, 2002.
- Barret, R.A.; Parsons, S.A., *The Influence of Magnetic Fields on Calcium Carbonate Precipitation*, *Water Res.* 32, 609, 1998.
- Ben Amor, M.; Zgolli, D.; Tlili, M.M.; Manzola, A.S., *Influence of Water Hardness, Substrate Nature and Temperature on Heterogeneous Calcium Carbonate Nucleation*, *Desalination* 166, 79-84, 2004.
- Busch, K.W.; Busch, M.A.; Darling, R.E.; Maggard, S.; Kubala, S.W., *Laboratory Studies on Magnetic Water Treatment and Their Relationship To A Possible Mechanism For Scale Reduction*, *Trans. IChemE* 75, 105, 1997.
- Chibowski, E., Lucyna Holysz, Aleksandra Szczes., *Adhesion of in situ precipitated calcium carbonate in the presence and absence of magnetic field in quiescent condition on different solid surface*, *Water Research*, 37, 4685-4692, 2003.
- Dawe, R.A., Zhang, Y., *Kinetics of calcium carbonate scaling using observations from glass micromodels*. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, (18) : 179-187, 1997.
- Elfil, H., Roques, H., *Role of hydrate phases of calcium carbonate on the scaling phenomenon*. *Desalination*, (137) : 177-186, 2001.
- Fathi, A., tlili M, Gabrielli, C., Maurin, G., Ben Amor, M., *Effect of Magnetic water treatment on homogeneous precipitation of calcium carbonate*, *Water Res*, 40, 1941-1950, 2006.
- Gabrielli, C., R. Jouhari, G. Maurin, M. Keddami., *Magnetic Water Treatment for Scale Prevention*. *Water Research*, 35, 3249-3259, 2001.
- Hans E, Lundager Madsen., *Crystallization of calcium carbonate in magnetic field in ordinary and heavy water*, *Journal of Crystal Growth*, 267, 251–255, 2004.
- Higashitani, K.; Oshitani, J., *Magnetic Effect on Thickness of Adsorbed Layer in Aqueous Solutions Evaluated Directly by Atomic Force Microscope*, *Journal of Colloid and Interface Science* 204, 861-867, 1998.

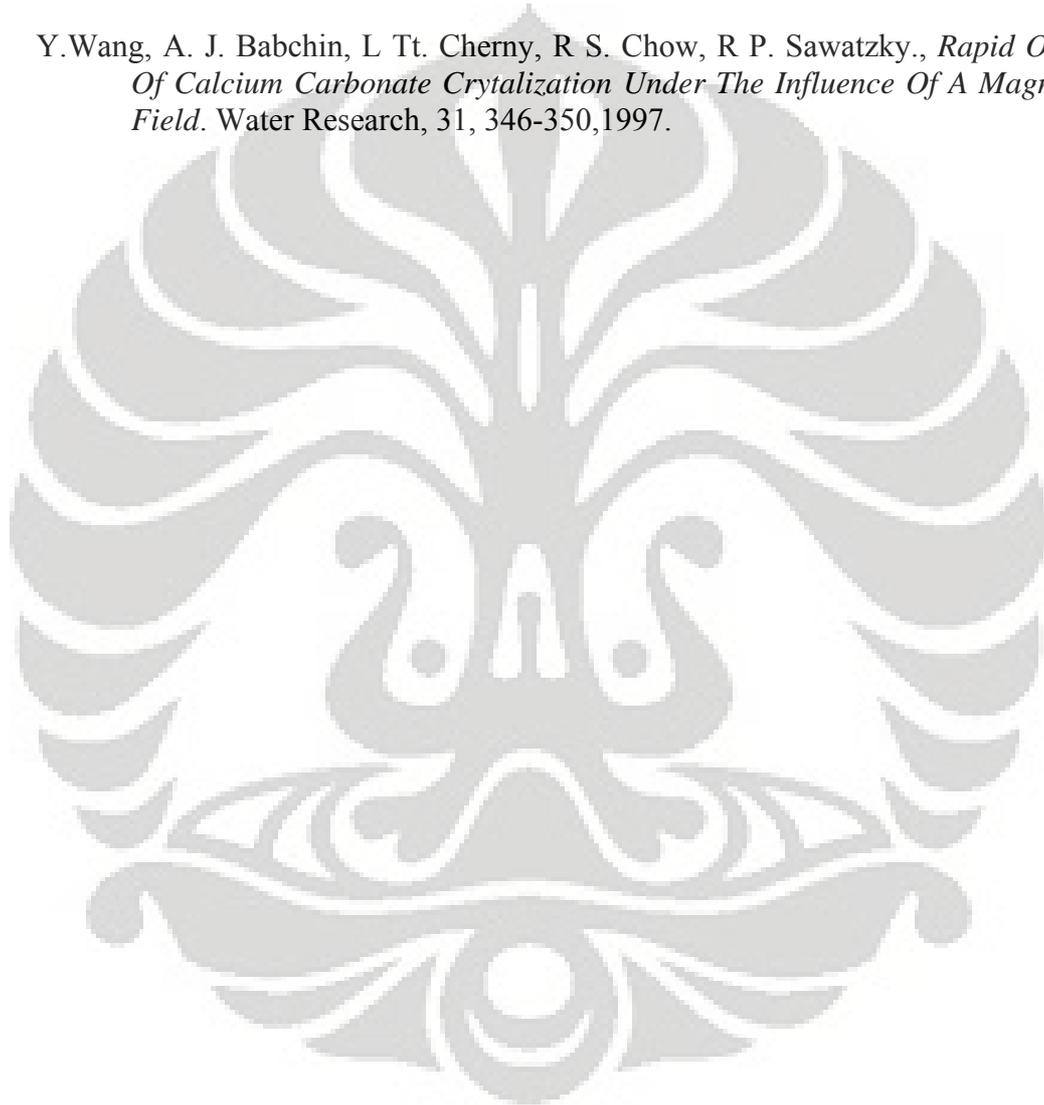
- Higashitani, K., A.Kage, S. Katamura, K. Imai, S. Hatade., *Effects of Magnetic Field on the Formation CaCO₃ Particles*, Journal Of Colloid Interface Science, 156, 90-95, 1993.
- Jena, A. K., Chaturvedi, M.C., *Phase Transformations in Materials*. First Ed, Prentice-Hall Inc, New Jersey, p : 107, 1992.
- J. M. D. Coey, Stephen Cass., *Magnetic water treatment*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 209, 71-74, 2000.
- Kobe, S., G, Drazic, P.J, McGuinness., T.E, Medena., *Control over nano crystallization in turbulent flow in the presence of magnetic fields*. Materials Science and Engineering, (C 23) : 811– 815, 2003.
- Kobe, S., G, Drazic, A.C, Sarantopoulou., *Nucleation and crystallization of CaCO₃ in applied magnetic fields*. Crystal Engineering, (5) : 5243-253, 2002.
- Kobe, S., G, Drazic, P.J, McGuinness., J, Strazisar., *The influence of the magnetic field on the crystallisation form of calcium carbonate and the testing of a magneticwater-treatment device*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, (236) : 71- 77, 2001.
- Kozic, V., L.C, Lipus., *Magnetic Water Treatment for a Less Tenacious Scale*, Journal of . Chemical. Inf. Computer Science, (43) : 1815-1819, 2003.
- Kney, A.D.; Parsons, S.A., *Spectrophotometer-based Study of Magnetic Water Treatment : Assessment of Ionic Vs Surface Mechanism*, Water Research 40, 517-524, 2006.
- Koutsoukos, P. G.; Dalas, E., *The Effect of Magnetic Fields on Calcium Carbonate Scale Formation*, J. Cryst. Growth 96, 802-806, 1989.
- Marcus, Yizhak., *A simple empirical model describing the thermodynamics of hydration of ions of ewidely varying charges, sizes, and shapes*, Biophysical Chemistry, 111-127, 1994.
- Nelson saksono, Elisabeth A. S., Setijo Bismo, Roekmijati W, dan Azwar Manaf., *Efek Medan Magnet pada Penurunan Kesadahan dan Pencegahan Pembentukan Kerak CaCO₃*., Jurnal Sains Materi Indonesia Edisi Khusus Oktober, 2007.
- Nelson Saksono, Achmad Fauzie, Setijo Bismo, and Roekmijati W S., *Effect of Magnetic Field on Calcium Carbonate Precipitation in Static and Dynamic Fluid Systems*, 14th Regional Symposium of Chemical Engineering, 2007.

Oshitani, J.; Uehra, R.; Highasitani, K., *Magnetic Effect on Electrolyte Solutions in Pulse and Alternating Fields*, Colloid Interface Sci. 209, 374, 1999.

Parsons, S.A.; Wang, L., Judd, S.J.; Stephenson, T., *Magnetic Water Treatment of Calcium Carbonatescale-Effect of pH Control*, Water Res. 31, 339, 1997.

Sergej Knez, Ciri Pohar., *The magnetic field influence on the polymorph composition of CaCO₃ precipitated from carbonized aqueous solutions*. Journal of Colloid and Interface Science, 281, 377–388.2005.

Y.Wang, A. J. Babchin, L Tt. Cherny, R S. Chow, R P. Sawatzky., *Rapid Onset Of Calcium Carbonate Crytialization Under The Influence Of A Magnetic Field*. Water Research, 31, 346-350,1997.





Lampiran A

A. Kinetika Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2 Termagnetisasi Sistem Fluida Statik

1. Perhitungan Parameter Kinetik

Tabel 1. Data percobaan pengaruh suhu magnetisasi

Pengaruh suhu						
t (menit)	NM 28 °C	NM 50 °C	NM 70 °C	M 28 °C	M 50 °C	M 70 °C
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	60,2	70,1	76,3	24,2	32,4	45,3
10	66,4	74,5	80,0	28,4	38,6	53,2
30	73,2	80,9	85,8	39,0	50,3	62,2
60	76,8	85,5	89,5	41,4	60,3	67,2
120	80,2	88,7	93,4	51,1	65,2	73,0

Tabel 2. Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

Non Magnet				Magnet		
Ln ln(1/1-y)				ln ln(1/1-y)		
ln t	28 °C	50 °C	70 °C	28 °C	50 °C	70 °C
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1,60944	-0,08197	0,18840	0,36443	-1,28348	-0,93761	-0,50533
2,30259	0,08677	0,31225	0,47588	-1,09555	-0,71793	-0,27538
3,40120	0,27559	0,50409	0,66882	-0,70462	-0,35787	-0,02751
4,09434	0,37871	0,65805	0,81262	-0,62563	-0,07924	0,10862
4,78749	0,48211	0,77949	0,99993	-0,33574	0,05406	0,26952

Tabel 3. Hasil perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

Nonmagnet					
T	n	ln K	K	K	ln k
301	0,17460	-0,33720	0,71377	0,14496	-1,93127
323	0,18720	-0,11800	0,88870	0,53241	-0,63034
343	0,19620	0,02870	1,02912	1,15752	0,14628

Magnet						
T	n	ln K	K	k	ln k	1/RT
301	0,29130	-1,75250	0,17334	0,00244	-6,01613	0,00040
323	0,32270	-1,45290	0,23389	0,01108	-4,50232	0,00037
343	0,23730	-0,85470	0,42541	0,02728	-3,60177	0,00035

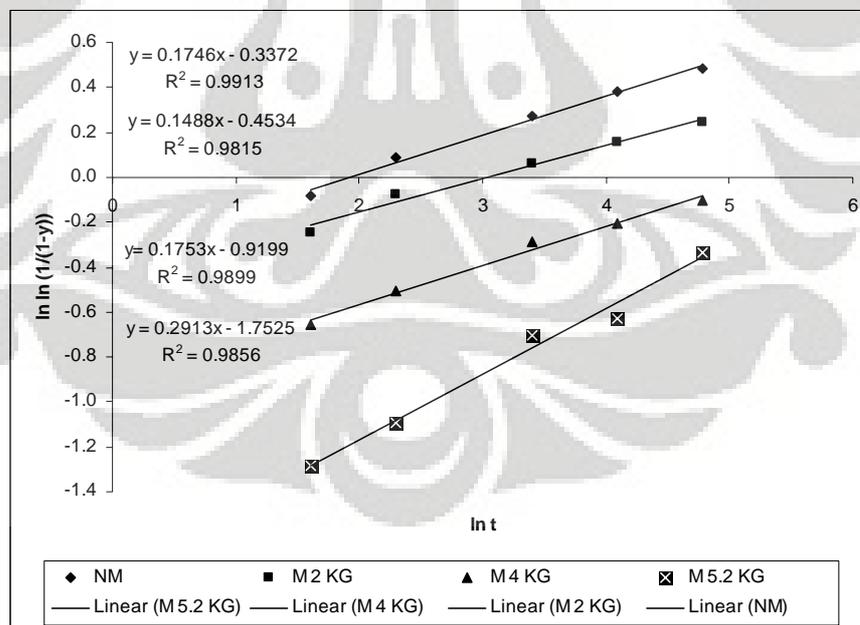
2. Pengaruh Kuat Medan Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Tabel 4. Data percobaan pengaruh kuat medan

t (menit)	Kuat medan			
	NM 0 Kg	2 kG	4 kG	5,2 kG
0	0	0,0	0,0	0
5	60,2	54,2	40,4	24,2
10	66,4	60,5	45,2	28,4
30	73,2	65,5	52,7	39,0
60	76,8	69,0	55,8	41,4
120	80,2	72,1	59,5	51,1

Tabel 5. Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

T (menit)	ln t	ln ln(1/1-y)			
		NM	2 KG	4 KG	5.2 KG
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	1,60944	-0,08197	-0,24733	-0,65872	-1,28348
10	2,30259	0,08677	-0,07379	-0,50836	-1,09555
30	3,40120	0,27559	0,06223	-0,28947	-0,70462
60	4,09434	0,37871	0,15801	-0,20280	-0,62563
120	4,78749	0,48211	0,24416	-0,10107	-0,33574



Gambar A 2. Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/1-Y)$ terhadap $\ln (t)$ pada sistem statik Magnet

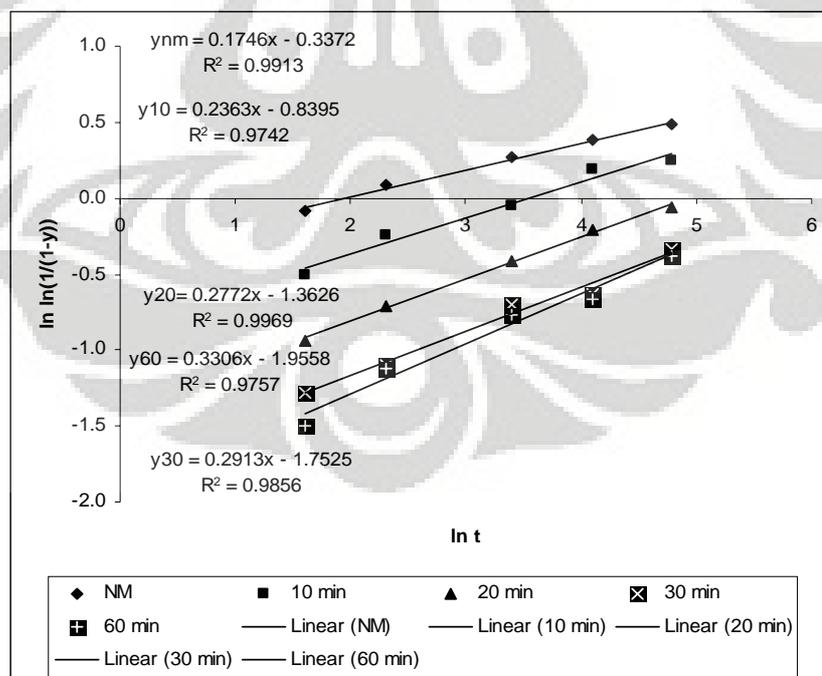
3. Pengaruh Waktu Magnetisasi Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Tabel 6. Data percobaan pengaruh Waktu Magnetisasi

T (menit)	Waktu magnetisasi				
	NM	10 min	20 min	30 min	60 min
0	0	0,0	0,0	0	0,0
5	60,2	45,4	32,5	24,2	20,1
10	66,4	54,2	38,9	28,4	27,8
30	73,2	61,3	48,3	39,0	37,1
60	76,8	70,0	55,7	41,4	40,2
120	80,2	72,1	61,1	51,1	49,7

Tabel 7. Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

t (menit)	Ln t	$\ln \ln(1/1-y)$				
		NM	10 min	20 min	30 min	60 min
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	1,60944	-0,08197	-0,50230	-0,93572	-1,28348	-1,49435
10	2,30259	0,08677	-0,24733	-0,70794	-1,09555	-1,12169
30	3,40120	0,27559	-0,05200	-0,41536	-0,70462	-0,76868
60	4,09434	0,37871	0,18563	-0,20695	-0,62563	-0,66521
120	4,78749	0,48211	0,24536	-0,05772	-0,33574	-0,37518



Gambar A 3. Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/1-Y)$ terhadap $\ln (t)$ pada sistem statik Magnet dan non magnet

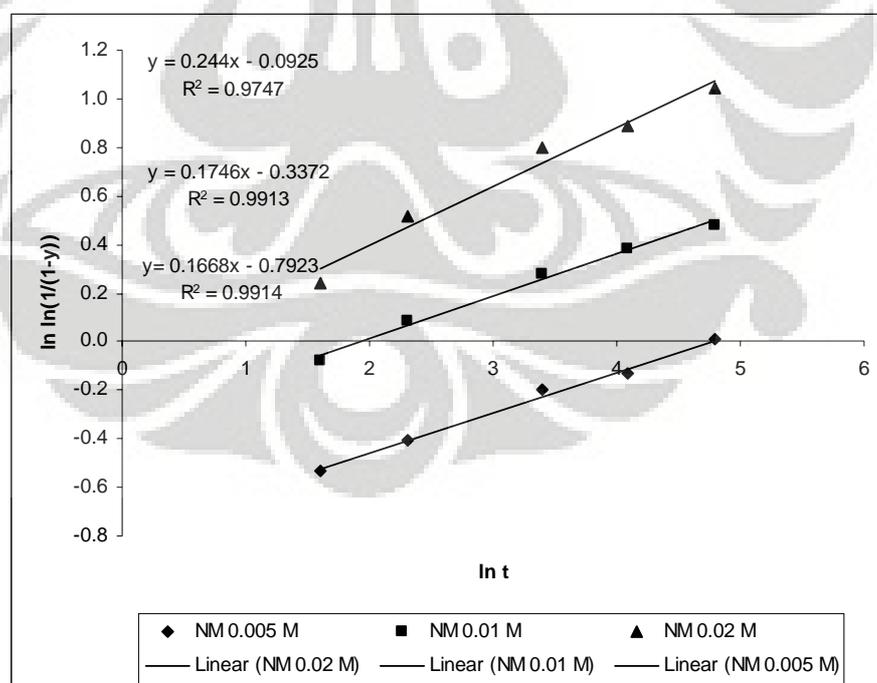
4. Pengaruh Kosentrasi Larutan Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Tabel 8. Data percobaan pengaruh Kosentrasi Larutan

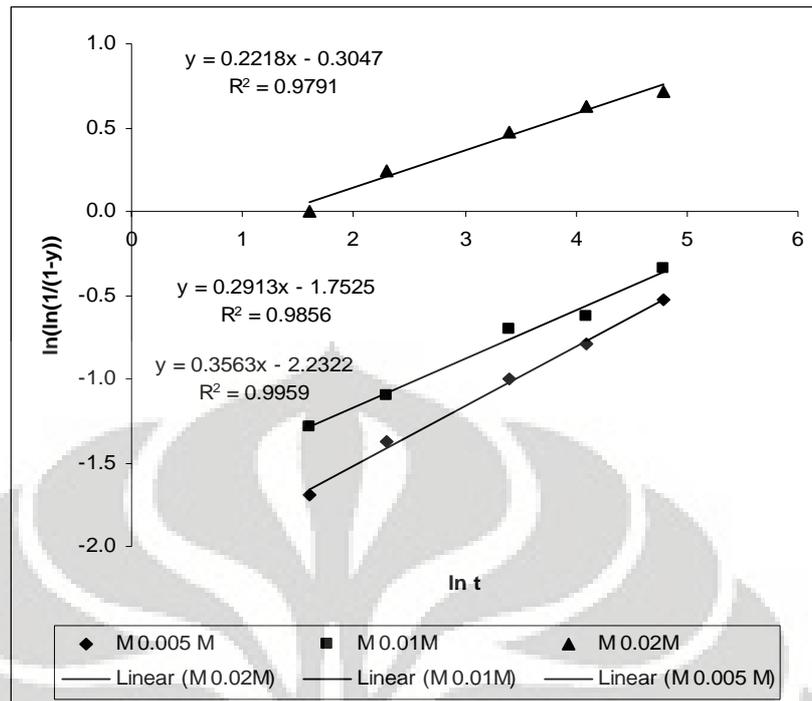
Konsentrasi					
NM 0,005 M	NM 0,01M	NM 0,02 M	M 0,005 M	M 0,01M	M 0,02 M
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44,4	60,2	72,0	16,8	24,2	63,4
48,6	66,4	81,3	22,4	28,4	72,1
56,1	73,2	89,1	30,7	39,0	80,0
58,3	76,8	91,2	36,4	41,4	84,7
63,5	80,2	94,2	44,5	51,1	87,0

Tabel 9. Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

t (menit)	$\ln \ln(1/1-y)$						
	$\ln t$	NM 0,005 M	NM 0,01M	NM 0,02 M	M 0,005 M	M 0,01M	M 0,02 M
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	1,60944	-0,53275	-0,08197	0,24135	-1,69324	-1,28348	0,00511
10	2,30259	-0,40717	0,08677	0,51680	-1,37199	-1,09555	0,24416
30	3,40120	-0,19449	0,27559	0,79589	-1,00314	-0,70462	0,47588
60	4,09434	-0,13391	0,37871	0,88806	-0,79284	-0,62563	0,62984
120	4,78749	0,00783	0,48211	1,04638	-0,52969	-0,33574	0,71306



Gambar A 4.1 Grafik Persamaan linier $\ln \ln(1/1-Y)$ terhadap $\ln (t)$ pada sistem statik non magnet



Gambar A 4.2. Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/(1-Y))$ terhadap $\ln(t)$ pada sistem statik Magnet

Lampiran B

B. Kinetika Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan Na_2CO_3 Dan CaCl_2 Termagnetisasi Sistem Fluida Dinamik

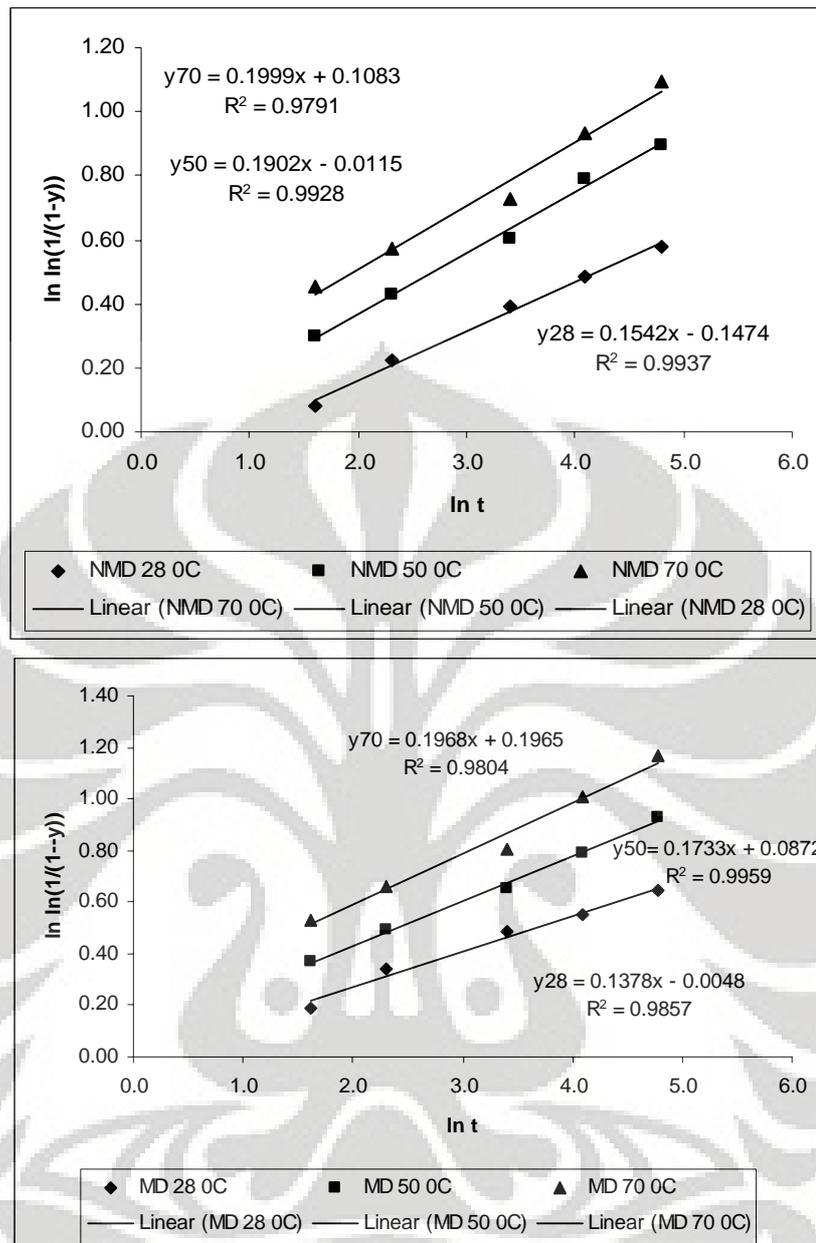
1. Perhitungan Parameter Kinetik

Tabel 10. Data percobaan pengaruh Waktu Magnetisasi

Variasi suhu						
t (menit)	NMD 28 °C	NMD 50 °C	NMD 70 °C	MD 28 °C	MD 50 °C	MD 70 °C
0	0	0	0	0	0	0
5	66,2	74,1	79,3	70,2	76,5	81,8
10	71,4	78,5	83,0	75,4	80,6	85,5
30	77,2	83,9	87,3	80,2	85,4	89,3
60	80,3	89,0	92,1	82,3	89,0	93,5
120	83,2	91,4	95,0	85,2	92,1	96,0

Tabel 11. Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

Ln t	Ln ln(1/1-y)			ln ln(1/1-y)		
	NM 28°C	NM 50 °C	NM 70 °C	M 28 °C	M 50 °C	M 70 °C
0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1,60944	0,08131	0,30079	0,45428	0,19117	0,37030	0,53283
2,30259	0,22455	0,42991	0,57208	0,33820	0,49463	0,65805
3,40120	0,39139	0,60232	0,72444	0,48256	0,65448	0,80421
4,09434	0,48479	0,79176	0,93150	0,54858	0,79176	1,00553
4,78749	0,57874	0,89748	1,09719	0,64739	0,93150	1,16903



Grafik B 1. Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/(1-Y))$ terhadap $\ln t$ untuk sampel non-magnetisasi (NMD) dan sampel termagnetisasi (MD)

2. Pengaruh Laju Alir Sirkulasi Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Tabel 12. Data percobaan pengaruh Laju alir sirkulasi

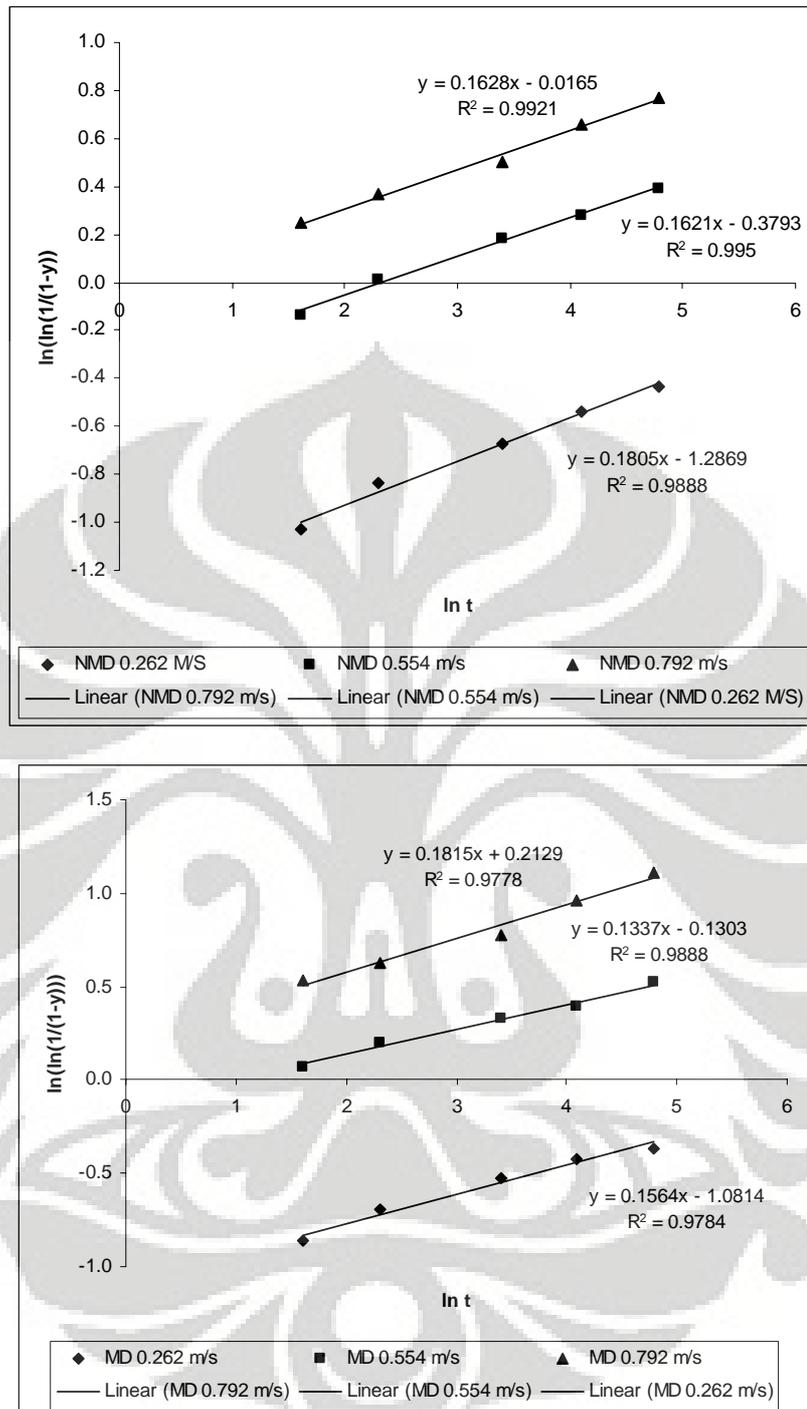
t (menit)	Laju Sirkulasi (0,01M, WS 5 min; PM ;35 cm; KM 5200 G; 28 oC)					
	NM 0,262 m/s	NM 0,554 m/s	NM 0,792 m/s	M 0,262 m/s	M 0,554 m/s	M 0,792 m/s
5	30,1	58,2	72,4	34,4	65,8	81,7
10	35,2	63,6	76,3	39,3	70,5	84,7
30	40,0	70,0	80,9	44,6	75,1	88,5
60	44,1	73,4	85,6	48,0	77,3	92,7
120	47,6	77,1	88,5	50,1	81,4	95,2

Tabel 13. Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

t (menit)	$\ln \ln(1/(1-y))$						
	Ln t	NM 0,262 m/s	NM 0,554 m/s	NM 0,792 m/s	M 0,262 m/s	M 0,554 m/s	M 0,792 m/s
5	1,60944	-1,02693	-0,13665	0,25231	-0,86371	0,07041	0,53025
10	2,30259	-0,83502	0,01055	0,36560	-0,69470	0,19949	0,62984
30	3,40120	-0,67173	0,18563	0,50382	-0,52663	0,32952	0,77141
60	4,09434	-0,54196	0,28085	0,66050	-0,42476	0,39394	0,96028
120	4,78749	-0,43655	0,38800	0,77222	-0,36363	0,51999	1,11141

Tabel 14. Hasil perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

m/s	laju sirkulasi non magnet				
	n	ln K	K	k	Ln k
0,262	0,18050	-1,28690	0,27613	0,00080	-7,12964
0,554	0,16210	-0,37930	0,68434	0,09634	-2,33991
0,792	0,16280	-0,01650	0,98364	0,90362	-0,10135



Grafik B 2. Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/1-Y)$ terhadap $\ln t$ untuk sampel non-magnetisasi (NMD) dan sampel termagnetisasi (MD)

3. Pengaruh Waktu Sirkulasi Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Tabel 15. Data percobaan pengaruh Waktu Magnetisasi

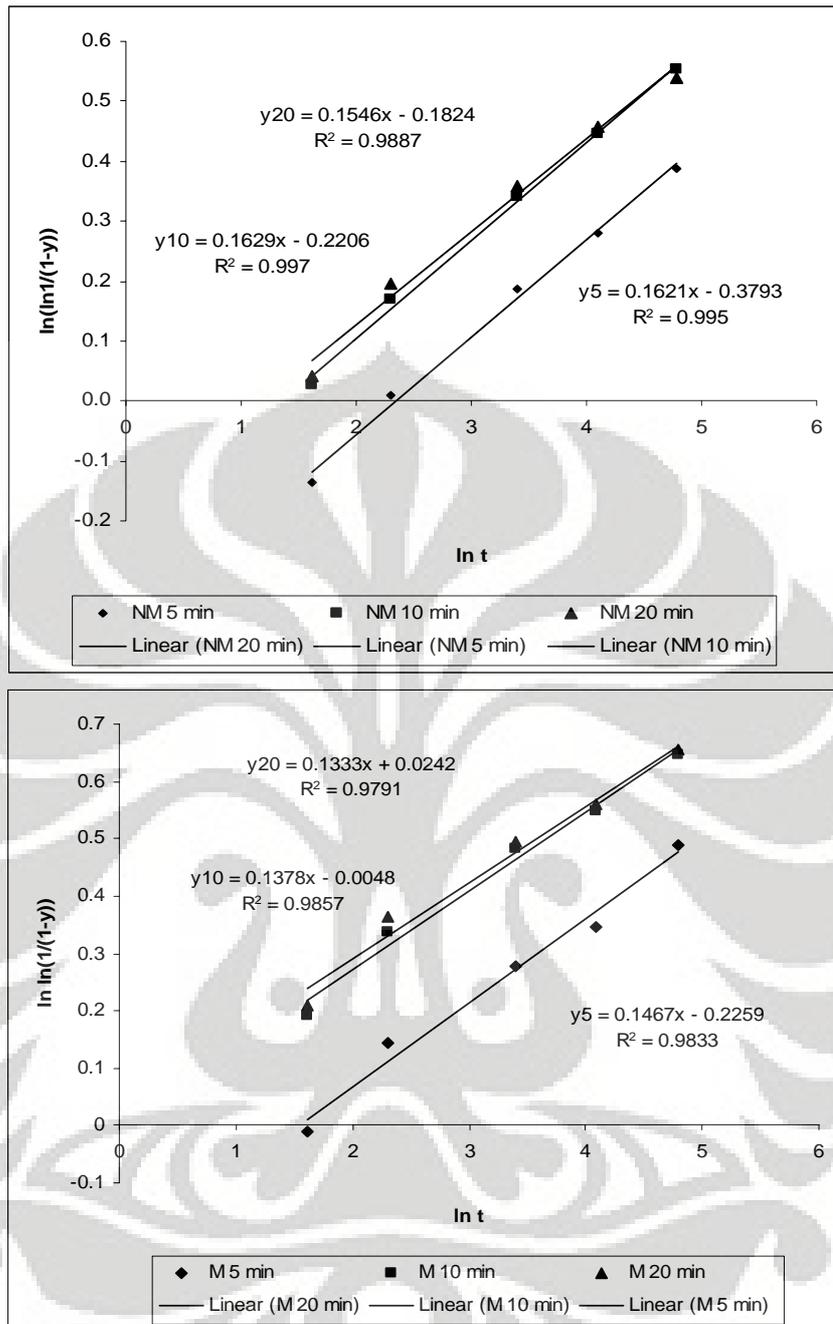
Waktu sirkulasi (0,01M, PM: 35 cm; KM: 5200 G 28 °C; laju 0,93 l/min)						
t (menit)	NM 5 min	NM 10 min	NM 20 min	M 5 min	M 10 min	M 20 min
5	58,2	64,2	64,7	62,8	70,2	70,8
10	63,6	69,4	70,4	68,5	75,4	76,3
30	70,0	75,5	76,1	73,3	80,2	80,6
60	73,4	79,0	79,4	75,7	82,3	82,6
120	77,1	82,4	82,0	80,4	85,2	85,4

Tabel 16. Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

t (menit)	$\ln \ln(1/1-y)$						
	$\ln t$	NM 5 min	NM 10 min	NM 20 min	M 5 min	M 10 min	M 20 min
5	1,60944	-0,13665	0,02686	0,04046	-0,01120	0,19117	0,20783
10	2,30259	0,01055	0,16904	0,19671	0,144258	0,33820	0,36443
30	3,40120	0,18563	0,34110	0,35858	0,278015	0,48256	0,49463
60	4,09434	0,28085	0,44510	0,45735	0,346913	0,54858	0,55887
120	4,78749	0,38800	0,55232	0,53930	0,48836	0,64739	0,65448

Tabel 17. Hasil perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

t (menit)	non magnet				magnet			
	n	$\ln K$	K	$k(\text{min}^{-1})$	n	$\ln K$	K	$k(\text{min}^{-1})$
5	0,1621	-0,3793	0,6843403	0,096336	0,1467	-0,2259	0,797798	0,214407
10	0,1629	-0,2206	0,8020374	0,258152	0,1378	-0,0048	0,995212	0,965767
20	0,1546	-0,1824	0,8332680	0,307334	0,1333	0,0242	1,024495	1,199069



Grafik B 3. Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/(1-Y))$ terhadap $\ln t$ untuk sampel non-magnetisasi (NMD) dan sampel termagnetisasi (MD)

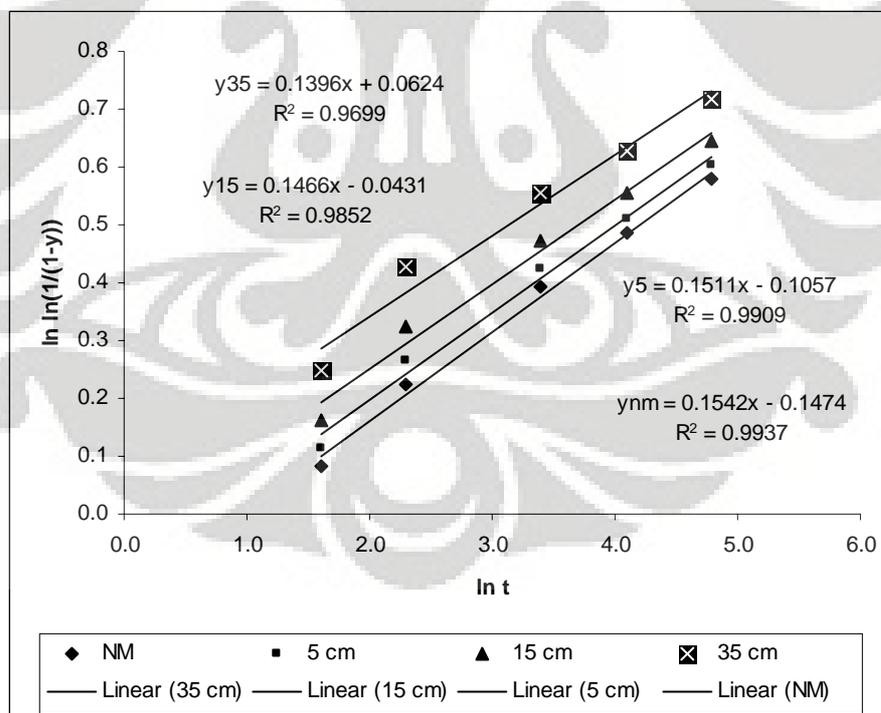
4. Pengaruh Panjang Magnet Terhadap Konstanta Laju (k) Presipitasi CaCO_3

Tabel 18. Data percobaan pengaruh Panjang magnet

T (menit)	Panjang Magnet (0,01M, WS: 10 min; laju 0,93 L/min; KM 5200 G; 28 °C)			
	NM	5 cm	15 cm	35 cm
5	66,2	67,4	69,2	72,2
10	71,4	72,8	74,9	78,4
30	77,2	78,3	79,9	82,5
60	80,3	81,1	82,4	84,6
120	83,2	84,0	85,2	87,1

Tabel 19 Perhitungan linerisasi magnet dan non magnet

t (menit)	ln t	ln ln(1/1-y)			
		NM	5 cm	15 cm	35 cm
5	1,60944	0,08131	0,11409	0,16353	0,24696
10	2,30259	0,22455	0,26387	0,32375	0,42689
30	3,40120	0,39139	0,42301	0,47145	0,55559
60	4,09434	0,48479	0,51197	0,55372	0,62637
120	4,78749	0,57874	0,60504	0,64562	0,71684



Grafik B 4. Grafik persamaan linier $\ln \ln(1/(1-Y))$ terhadap $\ln t$ untuk sampel non-magnetisasi (NMD) dan sampel termagnetisasi (MD)