



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN MODEL PERSAMAAN PRESIPITASI
CaCO₃ DARI LARUTAN CaCO₃ PADA SISTEM SIRKULASI
DINAMIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

ARYAGOENG C D

0606043036

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

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Aryagoeng C D
NPM : 0606043036
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengembangan Model Persamaan Presipitasi
CaCO₃ Dari Larutan CaCO₃ Pada Sistem Sirkulasi
Dinamik

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 : Dr.Ir. Nelson Saksono MT ()
Penguji : Ir. Sutrasno Kartohardjono MSc PhD()
Penguji : Ir. Yuliusman M Eng ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 23 Desember 2008

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Aryagoeng C D
NPM : 0606043036
Tanda Tangan :
Tanggal : 17 Desember 2008

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur saya panjatkan atas berkat rahmat dan karunia Allah SWT, akhirnya penyusunan tugas seminar ini.

Makalah dengan judul **“Pengembangan Model Persamaan Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan CaCO_3 Pada Sistem Sirkulasi Dinamik”** ini dibuat sebagai syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan mata kuliah Seminar di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Kimia Universitas Indonesia.

Selama proses penyusunan makalah Seminar ini, penulis telah banyak mendapatkan masukan maupun bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Nelson Saksone, MT atas bimbingan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Bapak Ir. Yuliusman M Eng selaku koordinator mata kuliah skripsi.
4. Keluarga (Babe, Enyak, Mba Arum, Mas Roni, Alem, Calya) yang telah memberikan dukungan doa, dorongan berupa jiwa dan raga kepada penulis.
5. Item dan “si ganteng”, yang telah bersama dalam suka dan duka, panas terik, hujan badai, mendaki gunung, lewati lembah, sungai mengalir indah ke samudra, bersama teman berpetualang. Terima kasih atas bantuan, saran, dan kritiknya. I love you tem..., i love you ganteng.
6. Teman-teman satu angkatan : Madun, Izoel, Moko, Riyan, Zaki, Mas Joko, Cepi, Ino, Dinan, Eky, Eko, Hanif, Aziz, Apung, Tika, Mas Yanuar, Panji, Tri, Purce, Kang Yogi, Edyos, Silvi, Rizki, Mas Gozali, Ronald, Mas Joko Susanto, Ludi, Sany, Widi, dan Mukmin.
7. Sera yang telah banyak membantu dalam banyak hal. “kamu katalis dalam skripsi ini”.
8. Rina, saudara kandung dalam penelitian (kita satu bapak). Terima kasih atas batuan, dikusi, saran dan masukannya.

9. Mas Eko (maaf stopwachthnya rusak mas...), Mang Ijal, Mang Jajat, Mba' Vita.
10. Rekan-rekan Lab. Afiliasi, Pak Nardi, Mas Puji, Rai, Izoel (dia lagi), Rasyid, Alfin, Arpan dan Novi. Terima kasih atas bantuannya.
11. Angga dan Ithenk yang telah membantu dalam pengambilan data, dan juga diskusinya.
12. Indah sepedaku tersayang, yang selalu setia dinaiki siang dan malam, selalu setia menemani dalam suka dan duka.
13. Bapak Susilo Bambang Yudhoyono, semangat pak, semoga harga BBM bisa turun lagi.
14. Para pahlawan pejuang kemerdekaan yang telah mengorbankan jiwa dan raga sehingga penulis bisa merasakan alam kemerdekaan seperti sekarang ini dan dapat bersekolah hingga penulisan skripsi ini.
15. Semua pihak lain yang belum disebutkan, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu penulis.

Depok, 17 Desember 2008

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Aryagoeng C D
NPM : 0606043036
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 Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengembangan Model Persamaan Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan CaCO_3
Pada Sistem Sirkulasi Dinamik**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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: 17 Desember 2008
Yang menyatakan

(Aryagoeng C D)

ABSTRAK

Nama : Aryagoeng C D

Program Studi : Teknik Kimia

Judul :

Pengembangan Model Persamaan Presipitasi CaCO_3 Dari Larutan CaCO_3 Pada Sistem Sirkulasi Dinamik

Air secara alamiah mengandung ion-ion logam terlarut di dalamnya, salah satunya adalah ion Ca^{2+} yang dapat berpresipitasi dengan ion CO_3^{2-} sehingga membentuk kerak. *Anti-scale Magnetic Treatment* (AMT) merupakan suatu metode yang dapat mengurangi pembentukan kerak tanpa mengubah sifat kimia dari air. Hingga saat ini, penelitian mengenai AMT dengan fluida dinamik masih terus dikembangkan. Data yang dihasilkan cukup lengkap, oleh karena itu diperlukan suatu pengembangan model matematis dari data-data yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya, sehingga dapat diperkirakan hasil yang diperoleh pada suatu kondisi operasi tertentu. Data yang dihasilkan dari pengembangan model mempunyai harga yang mendekati hasil percobaan. Pengembangan model ini didapat waktu efektif magnetisasi dan variabel yang mempunyai pengaruh dominan terhadap presipitasi CaCO_3 , yaitu kecepatan alir dan konsentrasi larutan.

Kata kunci :

Kalsium karbonat, presipitasi, magnetisasi

ABSTRACT

Name : Aryagoeng C D

Program Study : Teknik Kimia

Title :

Development of CaCO_3 Precipitation Equation Model From CaCO_3 Solution at Dynamic Circulation System

Naturally water contains of ionics metal which dissolved within, one of the ionic metal is calcium ion (Ca^{2+}) which could precipitate with CO_3^{2-} forming scale. *Anti-scale Magnetic Treatment* (AMT) is an alternative method that could reduce the forming scale without changing it's chemical properties. Now a days, experiment about AMT with dynamic fluid is still being developed. The datas from the experiment that have been conducted are sufficient, because of that, the needs of mathematics modelling from the data from previous reseach is important to forecast the result that will be obtained from certain operation conditions. The modelling data obtained from modelling development were closed enough with the experiment data. From this modelling development the most influenced precipitation CaCO_3 which were the liquid flow and the cocentration of the solution.

Key words :

Calcium carbonate, precipitation, magnetitation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Penulisan	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Karakteristik Molekul Air	4
2.2 Air Sadah	5
2.3 Mekanisme Pembentukan Partikel	6
2.3.1 Model Presipitasi Lambat	6
2.3.2 Model Presipitasi Cepat (Spontan)	7
2.4 Jenis Kristal	8
2.5 Kondisi Yang Mempengaruhi Pembentukan Kristal CaCO_3	8
2.6 Mekanisme Pembentukan Kristal CaCO_3	10
2.7 Mekanisme Pembentukan Partikel CaCO_3 Dengan Medan Magnet	11
2.7.1 Tinjauan Hasil Penelitian AMT Untuk Pencegahan Scale	12
2.7.2 Mekanisme Ion Pada Presipitasi CaCO_3	12
2.7.3 Magnetisasi Fluida Statis	13
2.7.4 Magnetisasi Fluida Dinamis	14
2.7.4.1 Pengaruh Gaya Lorentz	15
2.7.4.2 Pengaruh Lamanya Sirkulasi	16
2.7.4.3 Pengaruh Laju Alir	17
2.8 Model Reaksi Presipitasi CaCO_3	20
3. METODE PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Penelitian	23
3.2 Model Persamaan Presipitasi CaCO_3	25
3.2.1 Regresi Data Variabel Proses Sebagai Fungsi ln (K2)	27
3.3 Simulasi Model Persamaan Laju Presipitasi CaCO_3	28
3.3.1 Perhitungan Presipitasi CaCO_3 Menggunakan Persamaan a Dan b Yang Didapat	28
3.3.2 Perhitungan Presipitasi CaCO_3 Menggunakan Persamaan a Dan b Hasil Dilatasi	29
3.4 Perhitungan Waktu Efektif Magnetisasi	29

4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Hasil Regresi Data Pada Berbagai Variabel Proses	31
4.2. Hasil Perbandingan Kurva	34
4.2.1 Variasi Kecepatan Alir	34
4.2.2. Variasi Kuat Medan Magnet	36
4.2.3. Variasi Panjang Magnet	37
4.2.4. Variasi Konsentrasi Sampel	39
4.2.5. Variasi Volume Sampel	40
4.3 Perhitungan Presipitasi CaCO_3 Dengan Metode Dilatasi	42
4.4. Waktu Efektif Magnetisasi	45
4.4.1. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kecepatan Alir	46
4.4.2. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kuat Medan Magnet	48
4.4.3. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Panjang Magnet	49
4.4.5. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Volume Larutan	51
4.5. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR)	54
4.5.1. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Kecepatan Alir	54
4.5.2. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Kuat Medan Magnet	55
4.5.3. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Panjang Magnet	55
4.5.4. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Konsentrasi Larutan Sampel	56
4.5.5. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Volume Larutan Sampel	57
4.6. Pengaruh Variabel Proses Terhadap Efektifitas Magnetisasi Fluida Dinamik	57
5. KESIMPULAN	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur H ₂ O dan ikatan hidrogen yang terbentuk antara molekul H ₂ O	4
Gambar 2.2. Bentuk kristal kalsit dan aragonit	8
Gambar 2.3. Efek penambahan Mg ²⁺ pada jumlah deposit CaCO ₃ (<i>scale</i>)	9
Gambar 2.4. Hasil SEM dari deposit CaCO ₃ (a) tanpa penambahan ion Mg ²⁺ dan (b) dengan penambahan ion Mg ²⁺ sebanyak 600 ppm	10
Gambar 2.5. Skema pembentukan partikel CaCO ₃ dalam larutan	11
Gambar 2.6. Rasio aragonit terhadap waktu inkubasi pada air yang tidak dimagnetisasi (+), air yang dimagnetisasi (○) dan selisihnya (●)	15
Gambar 2.7. Kurva 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	17
Gambar 2.8. Rasio penurunan ion Ca ²⁺ dalam larutan pada berbagai laju alir larutan	18
Gambar 2.9 Kurva % presipitasi homogen CaCO ₃ Vs laju alir dengan variasi pH	19
Gambar 2.10. Konsentrasi ion Ca ²⁺ pada berbagai laju alir yang di dapat dari persamaan 11	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2 Skema Peralatan Sistem Sirkulasi Non-Magnetisasi (A) dan Magnetisasi (B).....	25
Gambar 4.1. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi kecepatan alir non-magnetisasi	34
Gambar 4.2. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi kecepatan alir magnetisasi	35
Gambar 4.3. Kurva hubungan data hasil percobaan dan data hasil simulasi variasi kuat medan magnet	36
Gambar 4.4. Kurva hubungan data hasil percobaan dan data hasil simulasi variasi panjang magnet	37
Gambar 4.5. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi konsentrasi larutan sampel non-magnetisasi	39

Gambar 4.6. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi konsentrasi larutan sampel magnetisasi	39
Gambar 4.7. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi volume larutan sampel non-magnetisasi	41
Gambar 4.8. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi volume larutan sampel magnetisasi	41
Gambar 4.9. Kurva $a'(v)$ dan $b'(v)$ hasil dilatasi dari kurva $a(v)$ dan $b(v)$	43
Gambar 4.10. Kurva $[Ca^{2+}/Ca_i^{2+}]$ pada laju alir 0,792 m/s kuat medan 0,2 T panjang magnet 0,35 m volume sampel 240 mL; dan konsentrasi sampel 4 mol /m ³	44
Gambar 4.11. Kurva hubungan waktu magnetisasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ dengan variasi kecepatan alir	47
Gambar 4.12. Kurva hubungan waktu magnetisasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ dengan variasi kuat medan magnet	48
Gambar 4.13. Kurva hubungan waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ dengan variasi panjang medan magnet	50
Gambar 4.14. Kurva hubungan waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ dengan variasi konsentrasi larutan sampel	51
Gambar 4.15. Kurva hubungan waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ dengan variasi volume larutan sampel	53
Gambar 4.16. Kurva regresi linier $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ terhadap persen kenaikan laju alir (v), kuat medan (B), dan konsentrasi sampel (C_{ai})	58
Gambar 4.17. Kurva nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ hasil regresi terhadap persen kenaikan presipitasi relatif (PKPR)	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Termodinamik Reaksi Pembentukan CaCO_3	7
Tabel 2.2. Waktu nukleasi (t_n) dan waktu pembentukan kerak (t_s) pada variasi laju alir	18
Tabel 4.1. Nilai a dan b hasil regresi data presipitasi CaCO_3 pada berbagai variabel proses	32
Tabel 4.2. Nilai a dan b sebagai fungsi persamaan pada berbagai variabel proses untuk sampel yang dimagnetisasi	33
Tabel 4.3. Nilai a dan b sebagai fungsi persamaan pada berbagai variabel proses untuk sampel non-magnetisasi	33
Tabel 4.4. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi laju alir	35
Tabel 4.5. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi kuat medan magnet	37
Tabel 4.6. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi panjang magnet	38
Tabel 4.7. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi konsentrasi larutan sampel	40
Tabel 4.8. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi volume larutan sampel	41
Tabel 4.9. Hasil simulasi Ca/Ca_i selama 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,792$ m/s; $B = 0,2\text{T}$; $L_m = 0,35$ m; $V = 240$ mL; dan $\text{Ca}_i = 4$ mol/m ³	44
Tabel 4.10 Persen rasio dilatasi a dan b pada berbagai variabel proses terhadap harga a dan b acuan untuk sampel termagnetisasi dalam rentang data percobaan	45
Tabel 4.11. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan laju alir pada 120 menit sirkulasi dengan $B = 0,52$ T; $L_m = 0,35$ m; $v = 0,554$ m/s; $[\text{Ca}_i] = 4$ mol/m ³ ; dan $V = 240$ mL	47

Tabel 4.12. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan kuat medan magnet pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $L_m = 0,35$ m; $v = 0,554$ m/s; $[Ca_i] = 4$ mol/m ³ ; dan $V = 240$ mL	49
Tabel 4.13. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan panjang magnet pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $[Ca_i] = 4$ mol/m ³ ; dan $V = 240$ mL	49
Tabel 4.14. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan konsentrasi larutan sampel pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $L_m = 0,35$ m; dan $V = 240$ mL	52
Tabel 4.15. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan volume larutan sampel pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $L_m = 0,35$ m; dan $[Ca_i] = 4$ mol/m ³	52
Tabel 4.16. Persen kenaikan presipitasi relatif CaCO ₃ terhadap kenaikan laju alir pada 120 menit sirkulasi dengan $B = 0,52$ kG; $L_m = 0,35$ m; $v = 0,554$ m/s; $Ca_i : 4$ mol/m ³ ; pH awal larutan 6,4; $V = 240$ mL dan $T = 28$ °C	54
Tabel 4.17. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai kuat medan dengan $Ca_i = 4$ mol/m ³ ; $L_m = 0,35$ m; $v = 0,554$ m/s; $V = 240$ mL dan pH awal 8,5	55
Tabel 4.18. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai panjang magnet dengan $Ca_i = 4$ mol/m ³ ; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $V = 240$ mL dan pH awal 8,5	56
Tabel 4.19. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai konsentrasi larutan dengan $L_m = 0,35$ m; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $V = 240$ mL dan pH awal 8,5	56
Tabel 4.20. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai volume larutan dengan $Ca_i = 4$ mol/m ³ ; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $L_m = 0,35$ m dan pH awal 8,5	57
Tabel 4.21. Nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ pada berbagai persen kenaikan variabel proses	58

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Air merupakan kebutuhan yang vital bagi kehidupan umat manusia. Penggunaan air dalam jumlah besar terjadi pada sektor industri, baik sebagai bahan baku, maupun sebagai penukar panas pada beberapa peralatan industri. Oleh karena itu, kualitas air yang digunakan akan mempengaruhi kualitas suatu produk. Pembentukan kerak pada air sadah, disebabkan karena adanya ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} yang berpresipitasi membentuk kerak CaCO_3 . Air Sadah dapat menurunkan efektivitas dalam proses pencucian yang menggunakan sabun/detergen, sehingga kebutuhan sabun/detergen menjadi lebih tinggi.

Dalam dunia industri, pembentukan kerak CaCO_3 menjadi masalah pada peralatan industri yang menyebabkan kerugian. Pembentukan kerak pada sistem perpipaan dapat menghambat laju aliran pada pipa karena aliran tertahan oleh kerak yang terbentuk, sehingga kerja pompa menjadi lebih berat. Selain itu pembentukan kerak juga dapat menghalangi proses transfer panas pada *heat exchanger*.

Pengolahan air secara kimiawi, banyak digunakan untuk menghilangkan kesadahan air. Penambahan inhibitor anti kerak digunakan untuk menghambat pembentukan kerak pada air sadah. Pada metode ini, sifat kimia air akan berubah, sehingga dapat membahayakan jika digunakan dalam industri makanan dan farmasi. Metode lain yang digunakan adalah pengolahan air secara fisik. *Anti-scale Magnetic Treatment* (AMT). merupakan suatu metode yang dapat mengurangi tingkat kesadahan air tanpa mengubah sifat kimia dari air dan relatif lebih ekonomis.

Efek medan magnet pada suatu larutan, merupakan salah satu topik penelitian yang populer di berbagai jurnal, meskipun masih banyak kontroversi mengenai hal tersebut. AMT merupakan aplikasi dari medan magnet yang digunakan untuk mengontrol atau mencegah pembentukan kerak pada air sadah. AMT telah diaplikasikan di rumah tangga dan industri selama beberapa dekade, namun masih banyak komunitas ilmuwan yang meragukan kelangsungan metode tersebut. [1].

Hingga saat ini, penelitian mengenai AMT masih terus dikembangkan. Dalam laporan disertasinya, Saksono [5,6] melakukan penelitian AMT dengan sistem fluida yang disirkulasi. Air sadah sintetik yang digunakan adalah larutan CaCO_3 . Penelitian dilakukan pada berbagai kondisi operasi. Data yang dihasilkan cukup lengkap dan dapat menjelaskan fenomena yang terjadi dalam larutan CaCO_3 yang diberi medan magnet dengan sistem fluida sirkulasi. Oleh karena itu diperlukan suatu pengembangan model matematika dari data-data yang dihasilkan dari penelitian sebelumnya untuk menggambarkan proses presipitasi CaCO_3 yang terjadi dalam air sadah sistem fluida dinamis dengan pengaruh medan magnet, sehingga dapat diperkirakan hasil yang diperoleh pada suatu kondisi operasi tertentu. Pengembangan model ini mengacu pada parameter kondisi operasi yang dapat mempengaruhi proses presipitasi CaCO_3 , seperti laju alir, waktu magnetisasi, kuat medan magnet dan panjang area medan magnet.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah pengembangan suatu model persamaan presipitasi CaCO_3 dengan pengaruh medan magnet dan menggunakan sistem fluida sirkulasi. Kondisi operasi yang perlu diperhatikan untuk dapat mengetahui efektivitas medan magnet adalah konsentrasi larutan, laju alir, waktu magnetisasi, kuat medan magnet dan panjang medan magnet yang digunakan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu model matematis yang menggambarkan proses presipitasi CaCO_3 dari larutan CaCO_3 dengan pengaruh medan magnet dan juga untuk mendapatkan kondisi operasi yang optimum pada proses presipitasi CaCO_3 dengan medan magnet dengan fluida yang disirkulasi.

1.4 Batasan Masalah

1. Sistem magnetisasi yang akan dimodelkan persamaan presipitasinya adalah sistem magnetisasi fluida dinamis dengan pompa sirkulasi.

2. Proses presipitasi yang akan dimodelkan adalah proses presipitasi ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} dari larutan CaCO_3 .
3. Kondisi operasi yang divariasikan adalah konsentrasi larutan CaCO_3 , laju alir, lama sirkulasi, volume sampel CaCO_3 , dan panjang magnet yang digunakan.

1.5 Sistematika Penulisan

Susunan sistematika penulisan adalah sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 Landasan Teori

Bab ini berisi tentang konsep dasar molekul air, mekanisme pembentukan partikel CaCO_3 tanpa medan magnet, mekanisme pembentukan partikel CaCO_3 dengan medan magnet, pembentukan kristal CaCO_3 , reaksi kesetimbangan pembentukan partikel CaCO_3 , pengaruh magnetisasi terhadap pembentukan kristal CaCO_3 , kinetika reaksi presipitasi CaCO_3 , serta model reaksi presipitasi CaCO_3 dengan magnetisasi.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Bab ini berisi mengenai metode penelitian secara keseluruhan mencakup diagram alir penelitian, model persamaan presipitasi CaCO_3 pada sistem fluida yang disirkulasi, serta waktu efektif magnetisasi.

BAB 4 Pembahasan

Bab ini berisikan pembahasan dari hasil-hasil pemodelan yang diperoleh dan membandingkannya dengan hasil dari percobaan serta efektifitas magnetisasi berdasarkan hasil pemodelan.

BAB 5 Kesimpulan

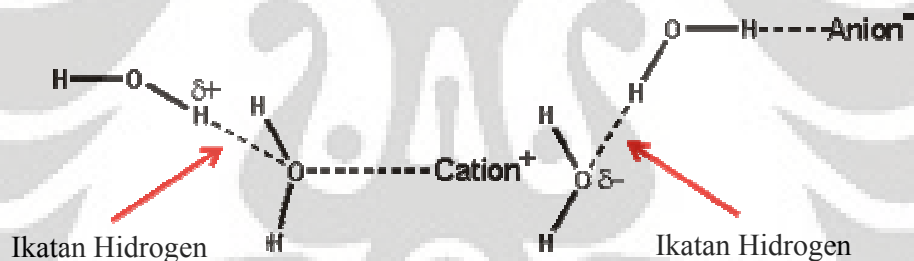
Bab ini berisikan kesimpulan penelitian berdasarkan hasil percobaan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Secara alamiah ion-ion mineral yang terlarut dalam air menyebabkan kesadahan air. Air dikatakan air sadah jika mengandung ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} terlarut yang cukup tinggi. Kesadahan air dapat menyebabkan deposit kerak pada peralatan, yang dapat menyebabkan kerugian teknis maupun ekonomis. Oleh karena itu diperlukan pengolahan air terlebih dahulu untuk menghindari kerugian tersebut. Magnetisasi diharapkan mampu untuk mengurangi pembentukan kerak pada air sadah. Pembentukan kerak CaCO_3 dalam air sadah adalah proses kesetimbangan kompleks, baik pada fasa larutan (*homogenous precipitation*) maupun pada fasa permukaan (*heterogenous precipitation*).

2.1 Karakteristik Molekul Air

Secara umum, air dengan rumus molekul H_2O menjelaskan mengenai komposisi dan berat molekulnya. Susunan molekular air ditunjukkan Gambar 2.1



Gambar 2.1 Struktur H_2O dan ikatan hidrogen yang terbentuk antara molekul H_2O .

Ikatan molekul air pada Gambar 2.1 membentuk suatu ikatan hidrogen. Energi yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan hidrogen tersebut dan membebaskan molekul air menjadi uap, lebih besar daripada senyawa kimia lainnya secara umum. Sehingga, uap air memiliki kandungan energi yang tinggi, kapasitas panas yang tinggi pula, dan medium yang efektif untuk mentransfer energi misalnya pada pengoperasian suatu industri. Bentuk molekul yang seperti huruf V akibat perbedaan keelektronegatifan H (+) dan O (-) menyebabkan air bersifat diamagnetik. Sifat diamagnetik merupakan sifat yang memberikan gaya repulsif (tolakan) terhadap medan magnet.

Air memiliki sifat panas yang beda dengan senyawa lain serta memiliki tegangan permukaan yang tinggi karena ikatan hidrogennya (ikatan tersebut juga menyebabkan air dapat naik pada pipa kapiler). Sebagai pelarut universal, kontak air dengan Kristal sebagai zat terlarut, menetralisasi gaya tarik menarik antar ion-ion akibat dihidrasi oleh molekul air ini. Sehingga air dapat mencegah terjadinya penggabungan atau kristalisasi. Efek pelarutan dan hidrasi secara kuantitatif ditunjukkan oleh konstanta dielektrik air yang tinggi.

Air mengionisasi secara cepat dan menghasilkan hanya 10^{-7} mol hidrogen dan 10^{-7} mol ion hidroksida per liter, sehingga digunakan sebagai insulator, air tidak dapat menghasilkan arus listrik. Konduktivitas biasanya mengindikasikan bahwa terdapat kandungan mineral dalam air.

Fenomena penting lainnya adalah viskositas yang merupakan fungsi ukuran internal friksi-gesekan yang terjadi oleh benda yang mengalir. Karena suhu meningkat, internal friksi tersebut menurun. Akibat efek suhu ini, garam yang terlarut dan gas yang terdifusi lebih cepat bergerak yang akan menyebabkan proses fisis dan kimia terhadap air semakin cepat.

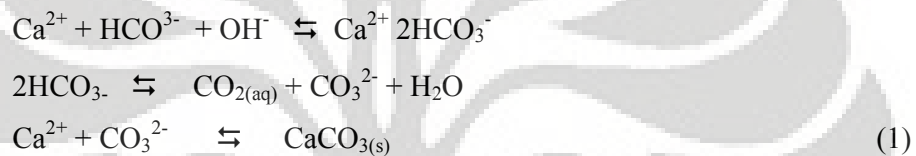
2.2 Air Sadah

Pada mulanya, kesadahan air dapat diartikan sebagai kapasitas air untuk mengendapkan sabun. Sabun dapat terendapkan terutama karena adanya ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} terlarut dalam air. Ion-ion ini terlarut karena adanya kandungan CO_2 dan O_2 dalam air. Kation-kation polyvalent lainnya juga dapat mengendapkan sabun, tetapi kation-kation tersebut umumnya dalam bentuk senyawa kompleks dengan kontituen organik yang ada, sehingga peranannya dalam kesadahan air dapat diabaikan. Oleh karena itu penetapan kesadahan air hanya diarahkan pada kandungan ion-ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} terlarut dalam air. Kation-kation ini dapat menyebabkan penyumbatan pada pipa-pipa sehingga dapat menyebabkan kegagalan dan menurunkan efisiensi panas. Terbentuknya kerak khususnya pada peralatan industri dapat mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Hal ini dikarenakan terbentuknya kerak dapat menghambat laju aliran dalam pipa, sehingga meningkatkan konsumsi energi pompa dan mengurangi transfer panas pada *heat exchanger*.

2.3 Mekanisme Pembentukan Partikel CaCO₃

2.3.1. Model Presipitasi Lambat

Proses presipitasi CaCO₃ merupakan suatu proses reaksi kesetimbangan yang dipengaruhi oleh kesadahan air, pH, suhu dan alkalinitas. Di alam, air banyak mengandung mineral-mineral terlarut, salah satunya adalah Ca²⁺, yang menyebabkan kesadahan air. Selain ion-ion logam, di air banyak juga terdapat senyawa-senyawa yang terlarut, seperti gas CO₂ dan ion bikarbonat (HCO₃⁻). Gas CO₂ yang terlarut dalam air memberikan sifat asam. Dengan lepasnya CO₂ terlarut menjadi fasa gas ke udara karena naiknya temperatur, maka pH air akan naik. Sehingga akan terjadi reaksi kesetimbangan pembentukan kerak CaCO₃ pada air. Tahapan reaksinya sebagai berikut :



Reaksi pembentukan partikel CaCO₃ di atas berjalan dengan lambat. Larutan CaCO₃ didapat dengan melarutkan padatan CaCO₃ dengan air dan dialiri gelembung gas CO₂ sambil diaduk. CO₂ bersifat asam, maka dengan adanya kandungan CO₂ terlarut yang cukup tinggi dalam larutan akan dihasilkan larutan yang bersifat asam dan jika dibiarkan dalam waktu yang cukup lama, maka jumlah partikel CaCO₃ akan meningkat dan pH larutan akan naik menuju pH isoelektriknya, yaitu sekitar 8,4. Peningkatan temperatur larutan atau dengan menambahkan gas inert seperti N₂ dapat membantu proses pelepasan gas CO₂ ke udara, sehingga dapat meningkatkan proses pembentukan partikel CaCO₃. Larutan ini banyak dipakai oleh para peneliti untuk memodelkan proses pembentukan kerak CaCO₃ pada air sadah.

Harga supersaturasi (δ_s) dari larutan merupakan fungsi dari hasil kali kelarutan, K_{sp} reaksi pembentukan CaCO₃ tahap akhir

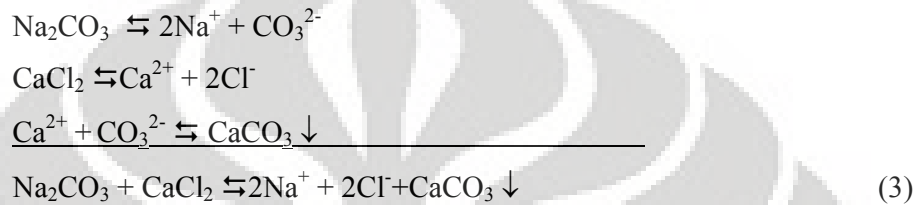
$$\delta_s = \frac{[\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]}{K_{sp}} \tag{2}$$

Pada suhu ruang harga K_{kalsit} = 3,16x10⁻⁹, K_{aragonit} = 4,78x10⁻⁹ dan K_{vaterit} = 12,6x10⁻⁹. Untuk mulai terjadinya pembentukan inti dilarutan (*homogenous*)

nucleation) maka dibutuhkan harga $\delta_s = \delta_{\text{kritis}} = 40$ dan di permukaan $\delta_s = \delta_{\text{kritis}} = 20$ [7].

2.3.2 Model Presipitasi Cepat (Spontan)

Larutan lain yang juga banyak dipakai sebagai model untuk mengamati proses pembentukan kerak pada air sadah oleh para peneliti adalah larutan dari hasil pencampuran Na_2CO_3 dan CaCl_2 dengan reaksi sebagai berikut :



Dari reaksi di atas, proses terbentuknya partikel CaCO_3 berjalan dengan cepat terutama pada fasa larutan. Kelarutan ion Ca^{2+} dipengaruhi oleh jumlah ion CO_3^{2-} dalam larutan, makin tinggi kandungan CO_3^{2-} semakin rendah kelarutan Ca^{2+} . Larutan yang dihasilkan bersifat basa dan jika didiamkan dalam waktu yang cukup lama, maka jumlah partikel CaCO_3 akan meningkat dan pH larutan akan turun menuju pH isoelektriknya, yaitu sekitar 8,4. Data-data termodinamik reaksi pembentukan CaCO_3 dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Termodinamik Reaksi Pembentukan CaCO_3

Reaksi Keseimbangan	ΔH° (kcal/mol)	ΔG° (kcal/mol)
$\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{HCO}_3^{-}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(\text{aq})} + \text{CaCO}_{3(\text{s})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	4,68	-5,88
$2\text{HCO}_3^{-}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-}_{(\text{aq})} + \text{CO}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$	3,72	+5,4
$\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{CO}_3^{2-}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{CaCO}_{3(\text{s})}$	2,95	-11,48

Berdasarkan Tabel 2.1 menunjukkan bahwa reaksi pembentukan CaCO_3 bersifat endotermis, dalam hal ini kenaikan suhu menyebabkan jumlah CaCO_3 yang terbentuk meningkat. Reaksi pembentukan CaCO_3 yang berasal dari Ca^{2+} dan CO_3^{2-} jauh lebih spontan / cepat ($\Delta G^\circ = -11,48$ kcal/mol) dibanding yang berasal dari Ca^{2+} dan HCO_3^{-} ($\Delta G^\circ = -5,88$ kcal/mol). Data ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan menggunakan model larutan CaCO_3 dan campuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 .

2.4 Jenis Kristal

Kristal CaCO_3 mempunyai tiga jenis kristal berdasarkan bentuknya, yaitu: kalsit, aragonit, dan vaterit. Kalsit berbentuk kristal hexagonal (*rhombohedral*), merupakan kristal yang paling stabil secara termodinamika. . Kristal kalsit yang berbentuk kubus merupakan jenis kristal yang paling banyak dijumpai karena kalsit terbentuk pada rentang temperatur 0-90 °C.[8]. Kalsit merupakan *hard scale* penyebab terjadinya *scaling*. Presipitasi kristal kalsit menyebabkan penurunan efisiensi peralatan industri maupun sistem pemanas air rumah tangga. Bahkan dapat merusak peralatan karena menyebabkan area aliran air tertutup. Kristal aragonit adalah kristal *orthorhombic* yang metastabil pada temperatur rendah dan tekanan atmosferik. Kristal aragonit merupakan kristal yang tergolong lunak (*soft scale*) karena mudah dipindahkan dan juga lebih mudah larut. Kristal aragonit yang berbentuk jarum (*needle-like*) mengendap pada temperatur yang relatif tinggi, dibandingkan kalsit [8]. Aragonit terbentuk pada suhu yang relatif tinggi, oleh karena itu untuk membentuk aragonit dibutuhkan energi pembentukan yang lebih tinggi dibandingkan kalsit, sehingga dengan adanya energi panas akan memungkinkan tercapainya energi pembentukan aragonit [9]. Sementara vaterit sendiri merupakan kristal yang kurang populer, sedangkan vaterit jarang bisa teramati karena sifatnya yang sangat metastabil [8].



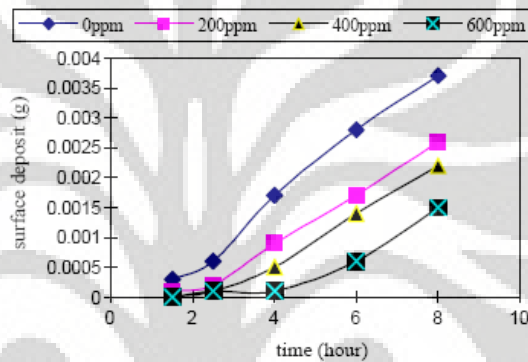
Gambar 2.2 Bentuk kristal kalsit dan aragonit.

2.5 Kondisi Yang Mempengaruhi Pembentukan Kristal CaCO_3

Proses presipitasi CaCO_3 pada air sadah merupakan proses kesetimbangan yang dipengaruhi oleh kesadahan air, suhu, pH, dan alkalinitas. Kelarutan ion Ca^{2+} dipengaruhi oleh kandungan ion CO_3^{2-} dalam larutan. Semakin tinggi

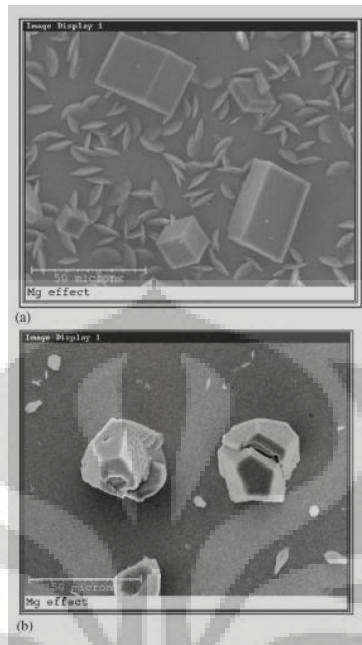
kandungan ion CO_3^{2-} dalam larutan, maka semakin besar pula kemampuan ion Ca^{2+} untuk mengendap membentuk CaCO_3 .

Adanya ion-ion logam yang terlarut dalam air juga dapat mempengaruhi proses presipitasi CaCO_3 . Ion-ion tersebut berpengaruh terhadap laju presipitasi CaCO_3 . Biasanya ion-ion ini dapat bertindak sebagai inhibitor terhadap terbentuknya deposit CaCO_3 (*scale*), terutama kristal kalsit. Ion Mg^{2+} merupakan salah satu ion yang paling berpengaruh pada laju pembentukan partikel CaCO_3 . Gambar 2.4 merupakan hasil penelitian Tao Chen yang menambahkan ion Mg^{2+} dengan kadar yang bervariasi pada air sadah.[10].



Gambar 2.3 Efek penambahan Mg^{2+} pada jumlah deposit CaCO_3 (*scale*).

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa Proses presipitasi CaCO_3 yang terhambat akibat adanya ion Mg^{2+} . Semakin banyak kandungan ion Mg^{2+} dalam larutan sampel, maka akan semakin lambat laju presipitasi CaCO_3 . Pada penambahan Mg^{2+} sebesar 600 ppm, kerak CaCO_3 yang terbentuk baru dapat diukur pada saat empat jam. Hasil pengukuran *scale* ini kemudian diperkuat oleh hasil *scanning electron microscopy* (SEM) yang diperlihatkan oleh gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hasil SEM dari deposit CaCO_3 (a) tanpa penambahan ion Mg^{2+} dan (b) dengan penambahan ion Mg^{2+} sebanyak 600 ppm .

Gambar 2.4 menunjukkan adanya penurunan jumlah kristal kalsit yang berbentuk kubus dan veterit yang berbentuk lonjong untuk sampel yang ditambahkan Mg^{2+} . Kerusakan bentuk kristal didapatkan dengan meningkatnya kandungan Mg^{2+} dalam larutan.

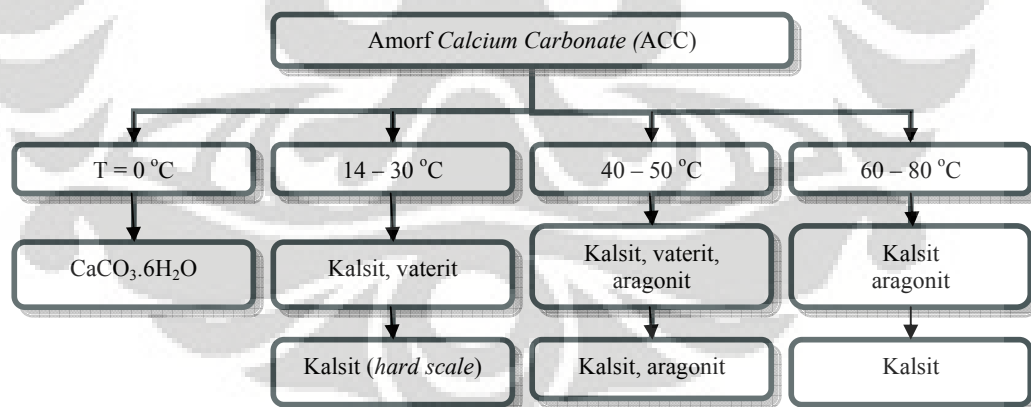
2.6 Mekanisme Pembentukan Kristal CaCO_3

Proses presipitasi CaCO_3 dapat terjadi di larutan, maupun di permukaan. Presipitasi CaCO_3 secara homogen memiliki perbedaan mekanisme yang cukup besar dibanding dengan presipitasi CaCO_3 secara heterogen. Jenis, jumlah dan ukuran kristal merupakan parameter yang akan dijelaskan dalam proses presipitasi partikel CaCO_3 . Presipitasi pada larutan merupakan proses presipitasi homogen yang pembentukan fasa padatnya dipengaruhi oleh adanya interaksi partikel-partikel dalam larutan. Presipitasi pada permukaan merupakan presipitasi heterogen yang proses pembentukan fasa padatnya dikatalisasi oleh adanya interaksi dengan permukaan maupun adanya interaksi partikel dalam larutan.[10]

Presipitasi yang terjadi pada larutan diawali dengan aglomerasi ion-ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} yang membentuk suatu kluster. Interaksi yang kuat antara kluster tersebut, menyebabkan agregat ini membentuk koloid nuklei dan akan tumbuh

menjadi kristal yang stabil [11]. Koloid nuklei yang terbentuk pada awal presipitasi akan membentuk *Amorf Calcium Carbonat* (ACC) yang bersifat tidak stabil. ACC selanjutnya akan mengalami rekristalisasi membentuk kristal vaterit yang berbentuk bola dan kalsit yang berbentuk kotak. Kristal vaterit bersifat meta-stabil dan akan bertransformasi menjadi kalsit.

ACC dapat bertransformasi membentuk kalsit dan vaterit pada suhu rendah, yaitu sekitar 14-30°C, sedangkan pada suhu 60–80°C ACC, transformasi membentuk kristal kalsit dan aragonit. Kristal aragonit mempunyai ukuran yang lebih kecil dari kalsit, bentuknya seperti jarum dan merupakan kristal yang bersifat *soft scale* karena mudah lepas dari permukaan dengan adanya aliran air. ACC akan bertransformasi menjadi kalsit, aragonit dan vaterit pada suhu 40-50°C. *Ground electronic state* aragonit lebih tinggi 28 eV dibanding kalsit. Untuk itu ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} memerlukan energi kinetik yang lebih besar untuk dapat membentuk aragonit [9]. Kristal $\text{CaCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ akan terbentuk pada suhu mendekati 0°C kemudian dengan cepat akan terdekomposisi jika suhu meningkat. Sedangkan kristal $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ terbentuk jika ada pengotor Mg pada air sadah. Skema pembentukan kristal CaCO_3 pada larutan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.5 Skema pembentukan partikel CaCO_3 dalam larutan.

2.7 Mekanisme Pembentukan Partikel CaCO_3 Dengan Medan Magnet

Efek medan magnet terhadap proses presipitasi CaCO_3 dapat dilihat dari berbagai aspek, dimulai dengan tinjauan terhadap hasil-hasil penelitian yang

sudah ada. Selanjutnya penjelasan tentang pengaruh laju alir dan lamanya sirkulasi pada sistem dinamis disinggung untuk lebih memahami mekanisme presipitasi CaCO_3 dalam medan magnet.

2. 7. 1 Tinjauan Hasil Penelitian AMT Untuk Pencegahan Scale

Efek medan magnet terhadap proses pembentukan kerak CaCO_3 telah banyak diteliti oleh para ilmuwan belakangan ini. Publikasi hasil penelitian tersebut juga telah banyak ditemukan pada jurnal-jurnal ilmiah. Meskipun sudah banyak jurnal ilmiah yang dipublikasikan menunjukkan hasil yang konkrit tentang pengaruh medan magnet terhadap pembentukan kerak CaCO_3 , namun isu tentang fenomena sesungguhnya yang terjadi masih kontroversial. Beberapa peneliti melaporkan penurunan *scale* yang terjadi mencapai hingga 48 % menggunakan aliran sirkulasi dan pH yang dikontrol [12], sementara peneliti lainnya tidak atau sedikit sekali pengurangan *scale* yang terjadi [13], bahkan beberapa peneliti mendapatkan penambahan jumlah *scale* yang terbentuk dengan adanya medan magnet [14]. Untuk itu penjelasan pada bagian ini akan diklasifikasikan berdasarkan kondisi.

2. 7. 2 Mekanisme Ion Pada Presipitasi CaCO_3

Pengaruh medan magnet terhadap karakteristik dan ukuran partikel CaCO_3 yang terbentuk berbeda-beda. Proses magnetisasi dilakukan terhadap sampel juga berbeda-beda. Sejauh ini, ada dua jenis perlakuan sampel yang akan dimagnetisasi, yaitu:

- MTBPP (*magnetic treatment before precipitation process*)
Larutan sampel dimagnetisasi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses pencampuran, atau dengan kata lain magnetisasi dilakukan sebelum proses presipitasi terjadi. Sampel yang umum digunakan yaitu larutan Na_2CO_3 dan larutan CaCl_2 .
- MTIPP (*magnetic treatment in precipitation process*):
Magnetisasi dilakukan ketika presipitasi terjadi. Sampel yang digunakan biasanya kalkokarbonik.

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.

Magnetisasi dilakukan terhadap larutan Na_2CO_3 , sedangkan larutan CaCl_2 tidak dimagnetisasi. Hal ini disebabkan karena ion CO_3^{2-} memiliki energi bebas Gibbs yang lebih kecil, yaitu sebesar 1315 kJ/mol, dibandingkan dengan energi bebas Gibbs yang dimiliki ion Ca^{2+} , yaitu sebesar 1505 kJ/mol. [15] Kekuatan molekul hidrat yang dapat dibentuk oleh suatu kation atau anion dapat dilihat dari besarnya nilai energi bebas Gibbs yang dimiliki. Jika kation atau anion memiliki nilai energi bebas Gibbs tinggi, maka kation atau anion tersebut dapat membentuk molekul hidrat yang kuat dan stabil. Oleh karena itu magnetisasi dilakukan terhadap larutan Na_2CO_3 , karena ion Ca^{2+} memiliki energi bebas Gibbs yang lebih besar, sehingga magnetisasi tidak akan berpengaruh banyak. Magnetisasi akan lebih memperkuat molekul hidrat yang terbentuk, sehingga ion CO_3^{2-} mempunyai energi hidrat yang lebih stabil.

2. 7. 3 Magnetisasi Fluida Statis

Magnetisasi dengan sistem fluida statis merupakan magnetisasi yang mengkondisikan sampel air yang dimagnetisasi dalam kondisi diam. Sistem ini disebut juga *quiescent condition*. Sistem ini dikembangkan untuk melihat fenomena pengaruh medan magnet terhadap proses pembentukan partikel CaCO_3 . Hipotesis yang diberikan untuk magnetisasi sistem fluida statis ini adalah magnetisasi dapat memodifikasi hidrasi ion dan permukaan padatan, dalam hal ini molekul H_2O yang terikat lemah di sekitar ion bersifat quasi-stabil dan dibuat lebih terstruktur oleh adanya medan magnet sehingga meningkatkan lapisan absorpsi pada permukaan ion hidrat [16]. Penelitian dari Higashitani [16] yang menggunakan sampel Na_2CO_3 dan CaCl_2 dapat menunjukkan bahwa efek hidrasi ion ini menyebabkan penurunan nukleasi CaCO_3 , namun terjadi peningkatan

ukuran dari partikel CaCO_3 , akibatnya jumlah partikel CaCO_3 yang terbentuk menjadi lebih sedikit.

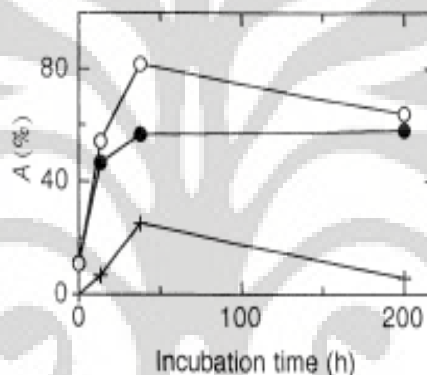
2. 7. 4 Magnetisasi Fluida Dinamis

Magnetisasi dengan sistem fluida dinamis merupakan sistem yang mengkondisikan larutan sampel air sadah yang disirkulasi melewati medan magnet. Arah aliran sampel air sadah biasanya tegak lurus terhadap medan magnet. Proses pembentukan kerak yang terjadi pada peralatan industri biasanya terjadi dengan kondisi air sadah yang mengalir. Oleh karena itu, percobaan dengan magnetisasi sistem fluida dinamis ini lebih efektif dilakukan karena lebih mendekati kondisi nyata, daripada magnetisasi dengan sistem fluida statis. Mekanisme dan kinetika pembentukan kerak pada larutan air sadah sangat dipengaruhi oleh hidrodinamika aliran air sadah tersebut saat terjadi presipitasi. Dari beberapa penelitian mengenai AMT didapatkan hasil bahwa sistem magnetisasi dinamis ini dapat mengurangi kerak sampai diatas 50% [17]. Pada sistem fluida dinamis terdapat juga fenomena hidrasi ion seperti yang terjadi pada sistem fluida statis. Hipotesis yang berkembang pada sistem dinamis adalah gaya lorentz, fenomena magnetohidrodinamika dan melemahnya ikatan hidrogen dari kompleks air. Fenomena magnetohidrodinamika merupakan suatu gaya yang mengubah pola aliran menjadi datar (turbulen) sehingga terjadi shear stress yang terlokalisasi di sekitar dinding permukaan dan meningkatkan nukleasi sebagai awal presipitasi. [13]

Dalam penelitiannya, Kroneberg [18] mendapatkan bahwa adanya medan magnet dapat meningkatkan laju nukleasi CaCO_3 . Penjelasannya adalah bahwa air mempunyai kecenderungan untuk membentuk suatu kompleks $(\text{H}_2\text{O})_n$ dengan $20 < n < 200$. Ikatan hidrogen yang mengikat H_2O secara bersama-sama menyebabkan terbentuknya kompleks tersebut, kemudian membentuk suatu struktur seperti kurungan (*cage like structure*) diantara ion dan partikulat lainnya. Adanya kompleks ini dapat mengurangi kemampuan tumbukan ion, sehingga nukleat CaCO_3 yang terbentuk tanpa medan magnet akan lebih sedikit. Kroneberg mendapatkan hipotesis bahwa medan magnet dapat melemahkan ikatan hidrogen dari kompleks air, sehingga ikatan antara kompleks air ini akan lebih mudah

patah. Dengan melemahnya ikatan hidrogen dari kompleks air tersebut, maka probabilitas tumbukan antar ion akan meningkat, sehingga meningkatkan frekuensi pembentukan nukleat CaCO_3 . Kompleks air ini disebut juga poliwater.

Coey [2] dalam penelitiannya memperlihatkan bahwa dalam pengaruh medan magnet, kristal CaCO_3 yang terbentuk dilarutan akan cenderung aragonit daripada kalsit. Pengujian Coey menggunakan sampel air tanah yang dimagnetisasi dengan kuat magnet 0.1 T. Hasil pengukuran dengan menggunakan *X-ray diffraction* terhadap waktu inkubasi sampel yang dimagnetisasi dan tidak dimagnetisasi diperlihatkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Rasio aragonit terhadap waktu inkubasi pada air yang tidak dimagnetisasi (+), air yang dimagnetisasi (o) dan selisihnya (•) [2].

Gambar 2.6 memperlihatkan bahwa dengan adanya magnetisasi maka kristal yang cenderung terbentuk aragonit. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan rasio aragonit pada sampel yang dimagnetisasi.

2. 7. 4. 1 Pengaruh Gaya Lorentz

Adanya medan magnet pada sistem dinamis menimbulkan suatu gaya, yaitu gaya lorentz. Gaya lorentz dapat berpengaruh pada ion-ion atau partikel yang bermuatan dalam larutan sampel. Jika suatu ion atau partikel bermuatan (e) dengan kecepatan aliran (v) bergerak tegak lurus melewati suatu medan magnet (B) maka akan mengalami gaya lorentz (F) sebesar:

$$F = e \cdot v \times B \quad (4)$$

Gaya Lorentz dapat menyebabkan pergeseran ion-ion dan partikel yang bermuatan. Pergeseran ini berpengaruh terhadap proses nukleasi dan presipitasi ion-ion dan partikel tersebut. Gaya Lorentz mendorong terjadinya agregasi dan kristalisasi terhadap ion-ion jenuh pada larutan sampel. Peningkatan nukleasi ini dapat menyebabkan jumlah partikel CaCO_3 menjadi lebih banyak sehingga kandungan ion Ca^{2+} dalam larutan menjadi lebih sedikit.

Penelitian yang dilakukan oleh Kozic melalui hasil simulasinya [19] menunjukkan pergeseran 0,2-10 nm untuk ion dan 0,2 nm-2 μm untuk partikel, dalam hal ini harga tersebut memadai untuk dapat menembus ketebalan *adsorbed layer* sebagai syarat terjadinya presipitasi ion/partikel bermuatan. Pergeseran ini berpengaruh terhadap agregasi dan kristalisasi CaCO_3 .

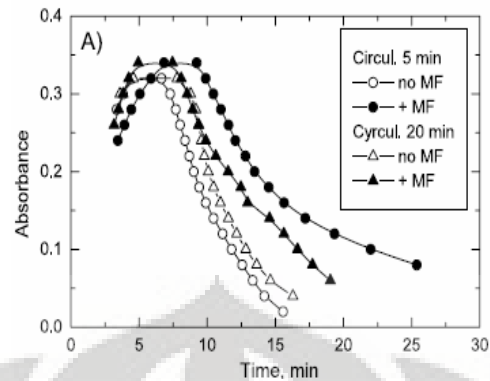
Busch [13] dalam penelitiannya mendapatkan bahwa pada sistem dinamis, ketika larutan yang bersifat konduktif dialirkan tegak lurus melewati medan magnet, maka akan terjadi induksi listrik pada larutan konduktif tersebut. Fenomena ini disebut fenomena magnetohidrodinamika. Busch mendapatkan suatu hipotesis tentang terbentuknya muatan arus listrik akibat adanya medan magnet pada larutan konduktif adalah sebagai berikut:

$$eT = eS + [(v \times B) \cdot L] \quad (5)$$

Dalam hal ini, eT adalah tegangan yang terukur, eS adalah beda potensial yang timbul tanpa adanya aliran fluida. V adalah kecepatan aliran, B adalah besarnya induksi magnetik dan L adalah jarak diameter pipa.

2. 7. 4. 2 Pengaruh Lamanya Sirkulasi

Dalam penelitiannya, Chibowski [17] 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 λ . Magnet yang digunakan mempunyai kuat medan magnet sebesar 0,1 T.

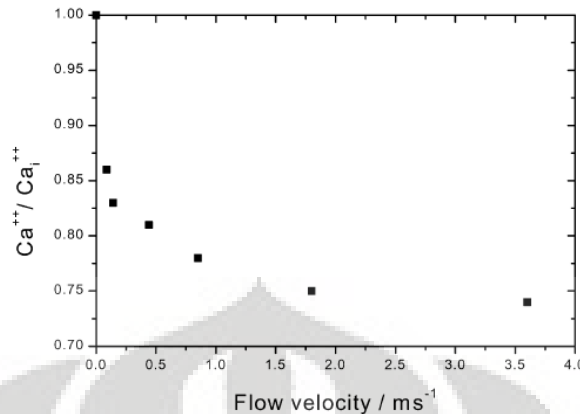


Gambar 2. 7. Kurva Tingkat Absorbansi terhadap Waktu Presipitasi CaCO_3 : 5 menit MF (Magnetisasi Fluida Sirkulasi) pada pH 10,3; 20 menit MF (Magnetisasi Fluida Sirkulasi) untuk pH 10,25 [17]

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. 7. 4. 3 Pengaruh Laju Alir

Gabrielli [20] dalam penelitiannya melakukan magnetisasi larutan CaCO_3 yang disirkulasi. Tujuannya adalah mengamati ion Ca^{2+} sebelum dan sesudah magnetisasi dengan memvariasikan laju alir fluida.



Gambar 2.8. Rasio penurunan ion Ca^{2+} dalam larutan pada berbagai laju alir larutan [20]

Gambar 2.8 menunjukkan bahwa terjadi penurunan ion Ca^{2+} dalam larutan dengan semakin meningkatnya laju alir larutan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin cepat laju alir larutan, maka akan semakin banyak proses presipitasi yang terjadi. Akibatnya kandungan ion Ca^{2+} dalam larutan menjadi lebih sedikit.

Penelitian Gabrieli juga mengamati tentang proses pembentukan deposit CaCO_3 setelah magnetisasi dengan sirkulasi. Larutan sampel diletakkan pada wadah yang statis (diam).

Tabel 2.2. Waktu nukleasi (t_n) dan waktu pembentukan kerak (t_s) pada variasi laju alir

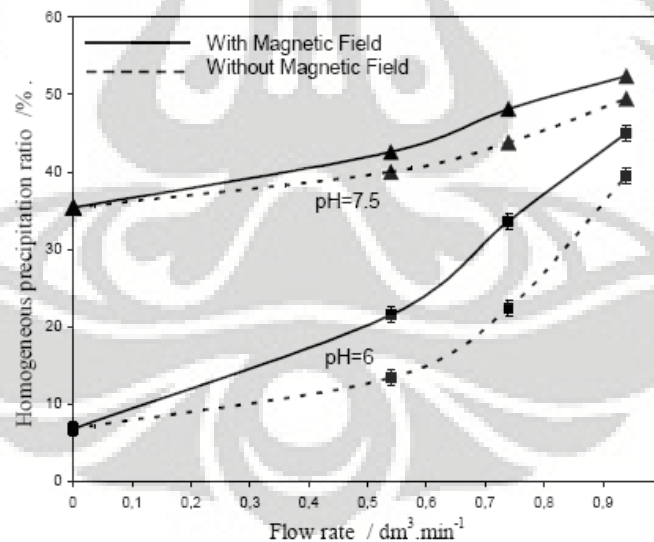
	Tanpa magnet	Dengan Magnet	
		V= 0,074 m/s	V= 0,885 m/s
t_s (min)	75	180	225
t_n (min)	5	30	50

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan waktu pembentukan kerak, dari 75 menit untuk sampel tanpa magnetisasi, menjadi 180 menit untuk sampel dengan magnetisasi. Waktu nukleasi juga meningkat, yaitu sebesar 5 menit untuk sampel tanpa magnetisasi dan 30 menit untuk sampel dengan magnetisasi pada laju alir 0,074 m/s. Waktu nukleasi (t_n) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi deposit CaCO_3 pada saat pertama kali terbentuk. Waktu pembentukan kerak (t_s) adalah waktu selama terjadinya pembentukan deposit CaCO_3 . Hasil ini menunjukkan bahwa magnetisasi dapat menekan nukleasi pada tahap awal, yang menyebabkan massa deposit yang

terbentuk menjadi lebih banyak, sehingga waktu pembentukan kerak menjadi lebih lama.

Fathi [7] melakukan penelitian yang sama dengan Gabrielli, namun ia menggunakan metode titrasi EDTA untuk mengetahui adanya penurunan kandungan ion Ca^{2+} dalam larutan sampel. Hasil yang diperoleh adalah efek magnetisasi baru dapat teramati pada proses presipitasi setelah magnetisasi dengan mengamati waktu nukleasi. Fathi mendapatkan hipotesis bahwa saat magnetisasi telah terjadi reaksi pra-nukleasi, yaitu adanya perubahan sifat spesies yang ada dalam larutan. Reaksi pranukleasi ini baru berdampak pada proses setelah magnetisasi yang ditandai dengan peningkatan laju nukleasi. Reaksi pranukleasi ini diilustrasikan sebagai proses pendekatan ion-ion yang berpasangan yang akan memfasilitasi proses nukleasi setelah magnetisasi.

Dalam penelitiannya, Fathi mengamati proses presipitasi yang terjadi dalam larutan dengan sistem sirkulasi. Presipitasi CaCO_3 di larutan akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya laju alir larutan, dengan atau tanpa medan magnet. Bertambahnya nilai pH larutan mempunyai efek yang penting dalam presipitasi homogen.



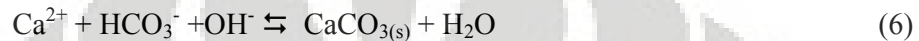
Gambar 2.9 Kurva % presipitasi homogen CaCO_3 Vs laju alir dengan variasi pH

Fathi menduga medan magnet menyebabkan terjadinya proses pendekatan ion-ion membentuk cluster (tahap pra-nukleasi) sebagai akibat adanya gaya elektrostatis ion-ion yang terkena medan magnet. Seiring dengan lepasnya CO_2

terlarut dan naiknya pH larutan maka supesaturasi larutan juga meningkat maka cluster-cluster yang sudah terbentuk akan mendapatkan energi yang cukup untuk berpresipitasi.

2.8 Model Reaksi Presipitasi CaCO_3

Gabrielli [20] menurunkan persamaan kinetika presipitasi CaCO_3 dari sudut pandang makroskopik dan mekanisme global presipitasi CaCO_3 , reaksinya sebagai berikut :



Persamaan laju reaksi untuk reaksi di atas dapat dinyatakan sebagai :

$$\frac{d[\text{CaCO}_3]}{dt} = k(B)[\text{Ca}^{2+}][\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-] - k'[\text{CaCO}_3] \quad (7)$$

dimana $k(B)$ adalah konstanta laju reaksi presipitasi (ke arah produk) dan k' merupakan konstanta laju reaksi dissolusi (ke arah reaktan) dari reaksi di atas.

Ion kalsium mula-mula ($[\text{Ca}^{2+}]_i$) adalah ion Ca^{2+} sisa di tambah dengan CaCO_3 yang terbentuk.

$$[\text{Ca}^{2+}] + [\text{CaCO}_3] = [\text{Ca}^{2+}]_i$$

Berdasarkan reaksi, laju pembentukan CaCO_3 setara dengan laju pengurangan ion Ca^{2+} .

$$\frac{d[\text{CaCO}_3]}{dt} = -\frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{dt}$$

oleh karena itu,

$$\frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{dt} = -k_1 \times \{B, [\text{HCO}_3^-], [\text{OH}^-]\} [\text{Ca}^{2+}] + k'([\text{Ca}^{2+}]_i - [\text{Ca}^{2+}]) \quad (8)$$

dimana $k_1 = k(B)[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]$, sehingga :

$$\frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{dt} = -(k_1 + k')[\text{Ca}^{2+}] + k'[\text{Ca}^{2+}]_i \quad (9)$$

Jika pembentukan *scale* tetap selama waktu T (waktu presipitasi), konsentrasi ion kalsium yang keluar setara dengan :

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{k'}{k_1 + k'}[\text{Ca}^{2+}]_i + \frac{k_1}{k_1 + k'}[\text{Ca}^{2+}]_i \exp[-T(k_1 + k')] \quad (10)$$

Jika k_1 dinyatakan membentuk suatu persamaan :

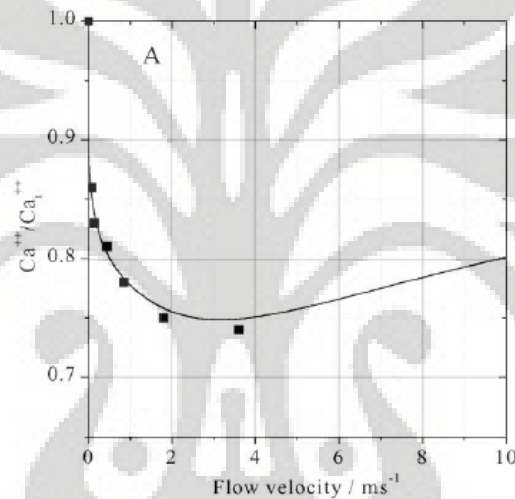
$$k_1 = k_0 B$$

dan B merupakan fungsi dari medan magnet (B^m) dan lama magnetisasi (t^n) : $B = (B^m)(t^n)$.

maka :

$$\frac{[Ca^{2+}]}{[Ca^{2+}]_i} = \frac{k'}{k_0 B^m t^n + k'} + \frac{k_0 B^m t^n}{k_0 B^m t^n + k'} \exp[-(k_0 B^m t^n + k')T] \quad (11)$$

Gambar 2.8 dapat dibandingkan dengan gambar 2.10 di bawah ini, yang merupakan kurva yang di dapat dari persamaan 11.



Gambar 2.10. Konsentrasi ion Ca^{2+} pada berbagai laju alir yang di dapat dari persamaan 11.

Ketika laju alir meningkat, maka laju presipitasi $CaCO_3$ menjadi lebih lambat dan proses ini menjadi tidak efisien lagi. Pada laju alir yang tetap, jika laju presipitasi $CaCO_3$ semakin meningkat, maka konsentrasi ion kalsium dalam larutan semakin berkurang sampai pada titik dimana reaksi ke arah reaktan dari reaksi 6 melarutkan partikel kalsium karbonat yang terbentuk untuk mencapai kesetimbangan.

Dari hasil plot kurva $\log\{-\log[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i\}$ terhadap $\log v$, nilai a mendekati $n = \frac{1}{5}$ (0.178) dapat dicapai. Gambar 2.12 merupakan hasil simulasi dari persamaan 11 dengan nilai $k=0.28$, $k_0 B^m=0.08$, $n=0.2$ dan L dalam meter (0.04 m

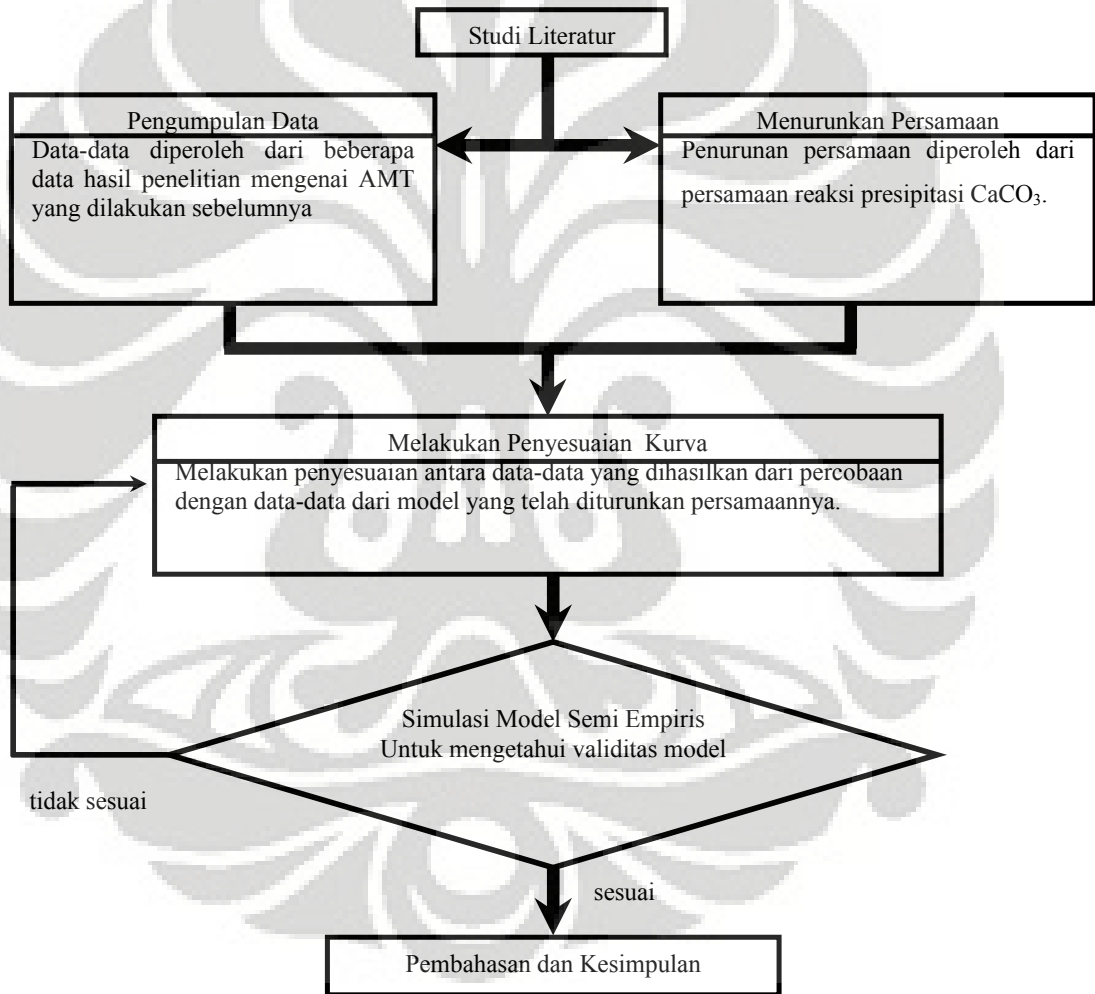
per magnet). Ini menunjukkan kecepatan maksimum sekitar $3,5 \text{ ms}^{-1}$, dimana proses ini menjadi optimum.



BAB 3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas metode penelitian yang terbagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu persiapan, pelaksanaan penelitian, dan pengolahan data. Bab ini juga membahas mengenai penurunan model reaksi presipitasi CaCO_3 serta simulasinya.

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini

1. Mengumpulkan dan mempersiapkan data hasil penelitian presipitasi CaCO_3

Data-data yang diperoleh merupakan data-data hasil penelitian presipitasi CaCO_3 dengan pengaruh medan magnet dan dengan sistem fluida sirkulasi yang menggunakan larutan CaCO_3 sebagai sampel air sadah. Data-data tersebut adalah hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya [5,6]. Data-data tersebut memvariasikan kondisi operasi dalam proses presipitasi CaCO_3 dengan medan magnet, yaitu variasi laju alir, kuat medan magnet, panjang magnet, kuat medan magnet, dan volume larutan.

2. Menurunkan persamaan presipitasi CaCO_3 dari reaksi yang terjadi dalam penelitian yang telah dilakukan.

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan matematis dari reaksi presipitasi yang terjadi dalam larutan air sadah, sehingga diperoleh persamaan analitis yang dapat digunakan untuk memodelkan reaksi presipitasi CaCO_3 sistem sirkulasi dengan paparan medan magnet.

3. Penyesuaian data

Proses ini dilakukan untuk menyesuaikan antara data-data hasil penelitian yang sudah dilakukan, dengan data-data hasil pemodelan yang telah diturunkan persamaannya. Tujuannya adalah untuk mengestimasi parameter-parameter yang belum diketahui pada persamaan model reaksi.

4. Mensimulasikan kembali hasil pemodelan

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui kevalidan nilai parameter hasil estimasi yang telah diperoleh pada langkah sebelumnya. Simulasi yang dilakukan mencakup konsentrasi ion kalsium pada waktu tertentu dibagi dengan konsentrasi ion kalsium awal.

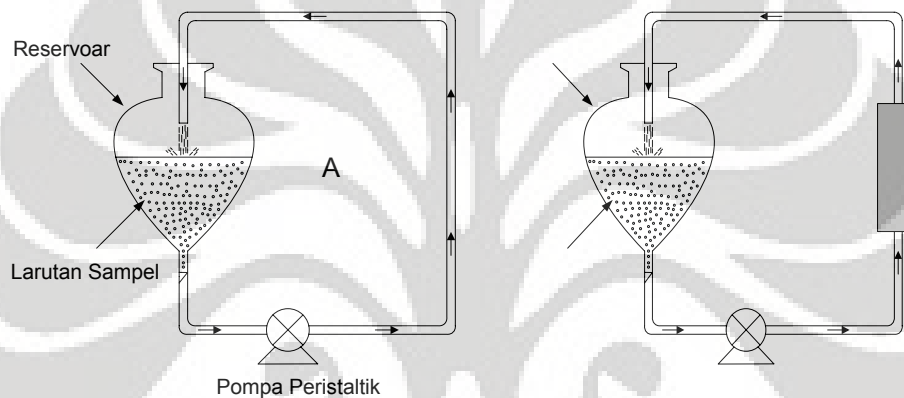
5. Pembahasan hasil penelitian dan kesimpulan

Pada tahap ini akan dibahas data yang dihasilkan dari pemodelan yang persamaannya sudah diturunkan dari reaksi yang terjadi, serta membandingkannya dengan data-data hasil percobaan dan dibuat kesimpulannya.

3.2 Model Persamaan Presipitasi CaCO_3

Model persamaan presipitasi CaCO_3 dikembangkan melalui suatu mekanisme reaksi presipitasi CaCO_3 secara global yang dipengaruhi oleh beberapa variabel proses, yaitu : laju alir, kuat medan magnet, panjang magnet, volume larutan, dan konsentrasi larutan. Untuk memodelkan persamaan presipitasi CaCO_3 , dilakukan pendekatan regresi sehingga didapat suatu model persamaan sebagai fungsi variabel-variabel proses tersebut.

Reaksi presipitasi CaCO_3 dengan sistem sirkulasi dilakukan pada suatu sistem sirkulasi tertutup dengan jangka waktu tertentu.



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

Sampel air sadah yang digunakan merupakan larutan air sadah sintetik yang dibuat dari padatan CaCO_3 yang dilarutkan dengan konsentrasi tertentu, sehingga di dalam larutan terdapat ion Ca^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , dan gas CO_2 terlarut yang bercampur sempurna (perfect mixing). Oleh karena itu, model reaktor Batch dapat digunakan untuk mendesain persamaan presipitasinya. Laju pembentukan CaCO_3 pada reaktor Batch berpengaduk dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{dN_{\text{CaCO}_3}}{dt} = - \frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{dt} = rV \quad (3.1)$$

Untuk kondisi volume larutan tetap ($V=V_0$), persamaan (3.1) dapat ditulis :

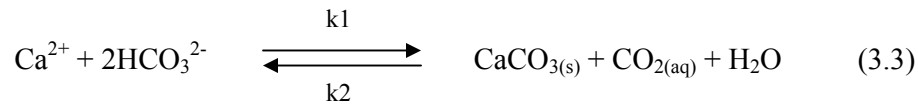
$$\frac{1}{V} \frac{dN_{\text{CaCO}_3}}{dt} = \frac{1}{V_0} \frac{dN_{\text{CaCO}_3}}{dt} = \frac{d[\text{CaCO}_3]}{dt} = - \frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{dt} = r_{\text{CaCO}_3} \quad (3.2)$$

Dimana :

N_{CaCO_3} = jumlah mol CaCO_3 (mol)

r_{CaCO_3} = laju presipitasi CaCO_3 (mol/min)

Reaksi presipitasi CaCO_3 pada larutan CaCO_3 ditinjau dari sudut pandang makroskopik dapat ditulis mengikuti suatu mekanisme global sebagai berikut :



Sehingga laju presipitasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\left[\frac{d[\text{CaCO}_3]}{dt} \right] = r_{\text{CaCO}_3} = k_1 [\text{Ca}^{2+}] [\text{HCO}_3^{2-}]^2 - k_2 [\text{CaCO}_3] [\text{CO}_2] \quad (3.4)$$

Dalam hal ini, k_1 merupakan konstanta laju reaksi presipitasi CaCO_3 . Jumlah total atom Ca dalam larutan CaCO_3 yaitu berupa ion Ca^{2+} dan Partikel CaCO_3 , sehingga dapat dirumuskan:

$$[\text{Ca}^{2+}]_i = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{CaCO}_3] \quad (3.5)$$

$[\text{Ca}^{2+}]_i$ merupakan konsentrasi ion Ca^{2+} mula-mula dan $[\text{Ca}^{2+}]$ merupakan konsentrasi ion Ca^{2+} pada waktu tertentu. Sehingga persamaan (3.4) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\left[\frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{dt} \right] = - \left[\frac{d[\text{CaCO}_3]}{dt} \right] = k_2 [\text{Ca}^{2+}] - [\text{Ca}^{2+}] [\text{CO}_2] - k_1 [\text{Ca}^{2+}] [\text{HCO}_3^{2-}]^2 \quad (3.6)$$

Jika $K_1 = k_1 [\text{HCO}_3^{2-}]^2$ dan $K_2 = k_2 [\text{CO}_2]$, maka persamaan (3.6) dapat ditulis

$$\frac{d[\text{Ca}^{2+}]}{dt} = -(K_1 + K_2) [\text{Ca}^{2+}] + K_2 [\text{Ca}^{2+}]_i \quad (3.7)$$

Jika $t = t_m$ yang merupakan waktu sampel terpapar medan magnet (detik), maka fraksi ion Ca^{2+} yang tidak terpresipitasi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ca}^{2+}]_i} = \frac{K_2}{K_1 + K_2} + \frac{K_1}{(K_1 + K_2) [\text{Ca}^{2+}]_i} \exp(-(K_1 + K_2) t_m) \quad (3.8)$$

Waktu magnetisasi (t_m) adalah lamanya sampel terpapar medan magnet yang merupakan fungsi dari waktu sirkulasi (t_s), luas penampang dalam pipa (A), volume sampel (V), dan panjang magnet (L_m), yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_m = \frac{A L_m t_s}{V} \quad (3.9)$$

Satuan yang digunakan adalah t_m dan t_s (detik), A (m^2), L_m (m), V (m^3), dan $[\text{Ca}^{2+}]_i$ (mol/m^3). Jika dianggap K_1 merupakan fungsi dari gaya Lorentz yang dialami partikel yang bergerak dengan kecepatan v melintasi medan magnet dengan kuat medan B maka K_1 dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_1 = (k_0 B^m \cdot v^p) \quad (3.10)$$

Gabrielli (2001) mendapatkan harga p adalah 0,2 pada magnetisasi sistem fluida dinamik sirkulasi dan harga $k_0 B^m$ berkisar antara 0.01 hingga 0.03. Harga $k_0 B^m$

dapat dituliskan merupakan fungsi kuat medan seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3.11) berikut:

$$k_0B^m = y = -0,0021 B^2 + 0.0102B + 0.0153 \quad (3.11)$$

dengan B : kuat medan dalam satuan Tesla (T)

untuk B = 0 ditetapkan $k_0B^m = 0.0225$

Nilai K_2 merupakan fungsi konsentrasi CO_2 terlarut. Kelarutan CO_2 dalam alir sangat rendah (1.2×10^{-5} M pada tekanan atmosferik) sehingga proses sirkulasi pada larutan akan menyebabkan lepasnya CO_2 ke fasa gas disertai naiknya pH larutan



Hal ini menyebabkan reaksi pembentukan $CaCO_3$ semakin besar dan jumlah ion Ca^{2+} di larutan semakin berkurang sehingga fraksi ion Ca^{2+} dalam larutan ($[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$) akan menurun seiring dengan bertambahnya waktu sirkulasi (t_s). Bertambahnya kecepatan aliran juga akan mempercepat lepasnya CO_2 terlarut ke fasa gas. Untuk itu harga K_2 dimodelkan sebagai fungsi dari waktu sirkulasi (t_s), kecepatan alir (v), Konsentrasi awal Ca^{2+} (Ca_i), kuat medan (B), panjang magnet (L_m), dan Volume sampel (V) dengan model persamaan sebagai berikut :

$$\ln K_2 f(t_s, v, Ca_i, B, L_m, V) = a \ln t_s + b \quad (3.13)$$

3.2.1 Regresi Data Dariabel Proses Sebagai Fungsi $\ln(K_2)$

Dari persamaan yang didapat, diperoleh kurva regresi $\ln(K_2)$ terhadap waktu sirkulasi (t_s) sebagai fungsi variabel kecepatan alir, kuat medan, panjang magnet, konsentrasi dan volume sampel beserta nilai koefisien korelasinya (R^2), sehingga diperoleh nilai a dan b dari hasil regresi. Nilai a dan b hasil regresi pada berbagai variabel proses selanjutnya diregresi kembali untuk setiap variabel proses yang akan membentuk persamaan a dan b sebagai fungsi variabel proses. Untuk mendapatkan nilai a dan b di luar persamaan yang didapat dari data percobaan, maka dapat dilakukan dengan membuat persamaan a dan b yang baru hasil dilatasi dari persamaan a dan b.

3.3 Simulasi Model Persamaan Laju Presipitasi $CaCO_3$.

Ada 2 jenis pengujian yang akan dilakukan pada model persamaan laju presipitasi $CaCO_3$ yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Pertama akan

dilakukan perhitungan presipitasi CaCO_3 menggunakan persamaan a dan b yang didapat dari data percobaan dan hasilnya akan dibandingkan dengan data percobaan. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan presipitasi CaCO_3 menggunakan persamaan a dan b hasil dilatasi.

3.3.1 Perhitungan Presipitasi CaCO_3 Menggunakan Persamaan a Dan b Yang Didapat

Nilai hasil simulasi $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ dibandingkan dengan nilai $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ dari hasil percobaan dengan cara diplot dalam satu kurva. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa dekat nilai $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ hasil simulasi dengan nilai $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ hasil percobaan. Dari sini kita dapat mengetahui seberapa besar persen penyimpangan kurva hasil simulasi dengan kurva hasil percobaan. Besarnya persen penyimpangan kurva tersebut dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\% \text{Penyimpangan} = \left| \frac{[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_{\text{percobaan}} - [\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_{\text{simulasi}}}{[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_{\text{percobaan}}} \right| \times 100\% \quad (3.14)$$

Persen penyimpangan kurva diperoleh dari setiap nilai $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ dan nilainya dirata-ratakan untuk setiap variabel proses pada setiap parameteranya.

3.3.2 Perhitungan Presipitasi CaCO_3 Menggunakan Persamaan a Dan b Hasil Dilatasi.

Perhitungan presipitasi CaCO_3 menggunakan persamaan a dan b hasil dilatasi dilakukan apabila kondisi proses di luar dari persamaan a dan b yang diluar kondisi proses acuan. Validasi hasil simulasi tidak dapat dilakukan karena tidak tersedianya data penelitian pada kondisi tersebut. Namun dalam hal ini akan dilakukan perbandingan dengan data penelitian pada kondisi terdekat dengan kondisi yang disimulasikan. Efektifitas metode dilatasi yang digunakan dalam persamaan ini bergantung pada persen rasio dilatasi dari persamaan a dan b acuan. Semakin besar persen rasio dilatasi yang terjadi maka tingkat kesalahan akan semakin tinggi.

3.4 Perhitungan Waktu Efektif Magnetisasi Dan Penurunan Ca/Ca_i .

Waktu efektif magnetisasi (t_{me}) adalah waktu dimana proses magnetisasi masih berpengaruh pada penurunan Ca/Ca_i (presipitasi $CaCO_3$). Nilai penurunan Ca/Ca_i yang dicapai saat waktu efektif magnetisasi disebut penurunan Ca/Ca_i efektif ($\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$). Nilai t_{me} dan ($\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$) merupakan parameter efektivitas magnetisasi larutan $CaCO_3$ untuk sistem sirkulasi fluida dinamik. Peningkatan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ akan menyebabkan meningkatnya presipitasi $CaCO_3$ yang ditunjukkan dengan bertambahnya persen kenaikan presipitasi relatif antara sampel termagnetisasi dan non-magnetisasi. Model persamaan laju presipitasi $CaCO_3$ dapat digunakan untuk memprediksi nilai t_{me} dan ($\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$) yaitu dengan membuat tetap variabel K_2 untuk menghilangkan efek sirkulasi pada presipitasi $CaCO_3$.

Persen kenaikan presipitasi relatif menggambarkan rasio kenaikan presipitasi sampel termagnetisasi dibanding sampel non-magnetisasi setelah 120 menit proses sirkulasi yang dirumuskan sebagai berikut :

$$PKPR = 100 * \frac{(M - NM)}{NM} \quad (3.15)$$

dengan : PKPR = persen kenaikan presipitasi relatif

M = Persen presipitasi sampel termagnetisasi selama 120 menit sirkulasi

NM = Persen presipitasi sampel non-magnetisasi selama 120 menit sirkulasi

Nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ menunjukkan kenaikan presipitasi akibat magnetisasi di awal presipitasi, sedangkan PKPR menunjukkan kenaikan presipitasi sampel termagnetisasi setelah 120 menit proses sirkulasi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan dibahas hasil regresi data yang diperoleh, membandingkan kurva dari data hasil percobaan dengan data hasil pemodelan, metode dilatasi, menentukan waktu efektif magnetisasi dan persen kenaikan presipitasi relatif, serta menentukan variabel yang berpengaruh terhadap presipitasi CaCO_3 .

4.1. Hasil Regresi Data Pada Berbagai Variabel Proses

Data hasil percobaan yang tersedia dimasukkan ke dalam persamaan (3.11), yaitu :

Data hasil percobaan yang tersedia dimasukkan ke dalam persamaan(3.11), yaitu :

$$\frac{[\text{Ca}^{2+}]}{[\text{Ca}^{2+}]_i} = \frac{K_2}{K_1+K_2} + \frac{K_1}{(K_1+K_2)[\text{Ca}^{2+}]_i} \exp(-(K_1+K_2)t_m)$$

Sehingga dapat diperoleh nilai K_2 dari persamaan tersebut. Nilai K_2 yang didapat dimodelkan sebagai fungsi dari waktu sirkulasi (t_s), kecepatan alir (v), konsentrasi awal Ca^{2+} (Ca_i), kuat medan (B), panjang magnet (L_m), dan volume sampel (V) sebagaimana yang terdapat pada persamaan (3.13) berikut ini :

$$\ln K_2 f(t_s, v, \text{Ca}_i, B, L_m, V) = a \ln t_s + b$$

Tabel 4.1 di bawah ini berisikan nilai a dan b yang dihasilkan dari kurva regresi $\ln(K_2)$ terhadap waktu sirkulasi (t_s) sebagai fungsi variabel kecepatan alir, kuat medan, panjang magnet, konsentrasi dan volume sampel, sebagaimana yang terdapat pada persamaan (3.13) di atas.

Nilai koefisien korelasi (R^2) yang dihasilkan dari regresi kurva logaritmik tersebut diatas 0,96 (Lampiran B). Ini berarti adanya korelasi yang baik dari data yang dihasilkan dari percobaan untuk dapat digunakan dalam pemodelan presipitasi CaCO_3 dalam kondisi operasi yang berbeda namun tidak melewati batas-batas kondisi operasi percobaan.

Data hasil percobaan yang tersedia dimasukkan ke dalam persamaan(3.11), yaitu :

Tabel 4.1. Nilai a dan b hasil regresi data presipitasi CaCO_3 pada berbagai variabel proses.

Variabel proses	Sampel Non-magnetisasi		Sampel Magnetisasi	
	a	b	a	b
Kecepatan alir (v)				
0,262 m/s	-1,1994	5,137	-1,0929	4,5742
0,544 m/s	-1,3301	5,1134	-1,0665	3,652
0,793 m/s	-1,8298	7,6545	-1,2462	4,3094
Kuat medan (B)				
0,2 T	-	-	-1,0291	3,324
0,4 T	-	-	-1,0634	3,5776
0,52 T	-	-	-1,0675	3,6591
Panjang magnet (L_m)				
0,05 m	-	-	-0,9552	3,0507
0,15 m	-	-	-1,0424	3,5025
0,25 m	-	-	-1,0658	3,6501
0,35 m	-	-	-1,0675	3,6591
Konsentrasi sampel (Ca_i)				
2 mol/m ³	-1,0818	3,8373	-0,9552	3,1712
4 mol/m ³	-1,1301	5,1139	-1,0668	3,6539
5 mol/m ³	-1,3585	5,2098	-1,1299	3,9358
Volume sampel (V)				
120 mL	-1,5317	5,6217	-1,2284	4,0325
240 mL	-1,3301	5,1139	-1,0668	3,6539
500 mL	-0,8564	3,0283	-0,8083	2,7958

Nilai diperoleh dari data pada lampiran A

Nilai a dan b yang diperoleh dari hasil regresi kurva pada suatu variabel proses, diplot dalam suatu kurva yang menyatakan hubungan nilai a dan b dengan suatu variabel proses tersebut. Dari kurva tersebut, diregresikan kembali untuk setiap variabel proses. Sehingga didapat persamaan yang menggambarkan hubungan nilai a dan b terhadap suatu variabel proses dalam batas-batas tertentu. Hasil regresi polinomial dari nilai a dan b pada setiap variabel proses ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.2. Nilai a dan b sebagai fungsi persamaan pada berbagai variabel proses untuk sampel yang dimagnetisasi.

Variabel Proses	Sampel Magnetisasi	
	A	b
Kecepatan alir (v) 0,262-0,792 m/s	$1,5952v^2+1,3921v-1,3481$	$11,171v^2-12,273v+7,023$
Kondisi Acuan	B=0,52 T; $L_m=0,35$ m; $C_{ai} = 4$ mol/m ³ ; V = 240 mL	
Kuat medan 0,2-0,52 T	$0,4292B^2-0,429B-0,9605$	$-18401B^2+2,3721B+2,9232$
Kondisi Acuan	v = 0,554 m/s; $L_m=0,35$ m; $C_{ai} = 4$ mol/m ³ ; V = 240 mL	
Panjang magnet (L_m) 0,05-0,35 m	$2,065L_m^2-1,1776L_m-0,9063$	$-11,07L_m^2+6,4008L_m+2,7666$
Kondisi Acuan	B= 0,52 T; v = 0,554 m/s; $C_{ai} = 4$ mol/m ³ ; V = 240 mL	
Konsentrasi (C_{ai}) 2-5 mol/m ³	$-0,0024Ca_i^2-0,0412Ca_i-0,8631$	$0,0135Ca_i^2+0,1603Ca_i+2,7966$
Kondisi Acuan	B=0,52 T; $L_m=0,35$ m; v = 0,554 m/s; V = 240 mL	
volume sampel (V) 0,00012-0,0005 m ³	$-927463V^2+1680,6V-1,4167$	$-382591V^2-3017,3V+4,4001$
Kondisi Acuan	B=0,52 T; $L_m=0,35$ m; $C_{ai} = 4$ mol/m ³ ; v = 0,554 m/s	

Tabel 4.3. Nilai a dan b sebagai fungsi persamaan pada berbagai variabel proses untuk sampel non-magnetisasi.

Variabel Proses	Sampel Non-magnetisasi	
	A	b
Kecepatan alir (v) 0,262-0,792 m/s	$-3,1169v^2+2,0958v-1,5345$	$20,298v^2-16,644v+8,1043$
Kondisi Acuan	B=0,52 T; $L_m=0,35$ m; $C_{ai} = 4$ mol/m ³ ; V = 240 mL	
Konsentrasi (C_{ai}) 2-5 mol/m ³	$0,0319Ca_i^2-0,3156Ca_i-0,5782$	$-0,1806Ca_i^2+1,721Ca_i+1,119$
Kondisi Acuan	B=0,52 T; $L_m=0,35$ m; v= 0,554 m/s; V = 240 mL	
volume sampel (V) 0,00012-0,0005 m ³	$373482V^2+1545,5V-1,7225$	$-1X10^7V^2-641,26V+5,8423$
Kondisi Acuan	B=0,52 T; $L_m=0,35$ m; $C_{ai} = 4$ mol/m ³ ; v = 0,554 m/s	

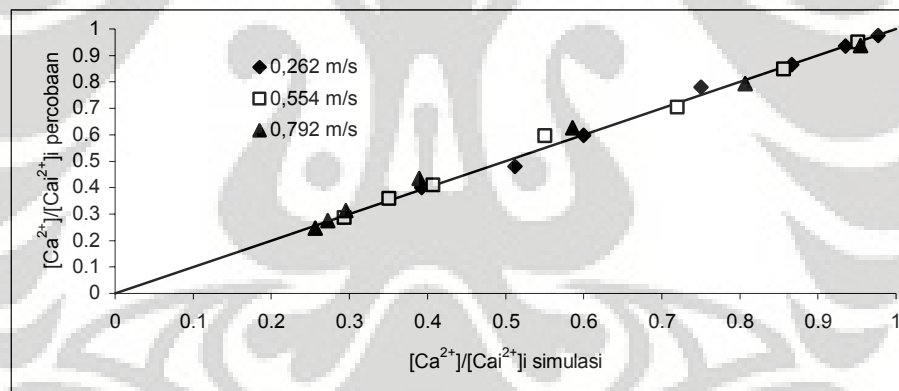
Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan dari hasil regresi a dan b untuk kurva polinomial bernilai 1, kecuali untuk kecuali untuk variabel proses panjang magnet bernilai 0,9904 untuk kurva hasil regresi polinomial nilai a dan 0,9944 untuk kurva hasil regresi polinomial nilai b. Selanjutnya dari persamaan untuk setiap variabel proses akan didapatkan kembali nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ untuk hasil pemodelan yang nilainya akan dibandingkan dengan nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ hasil percobaan.

4.2. Hasil Perbandingan Kurva

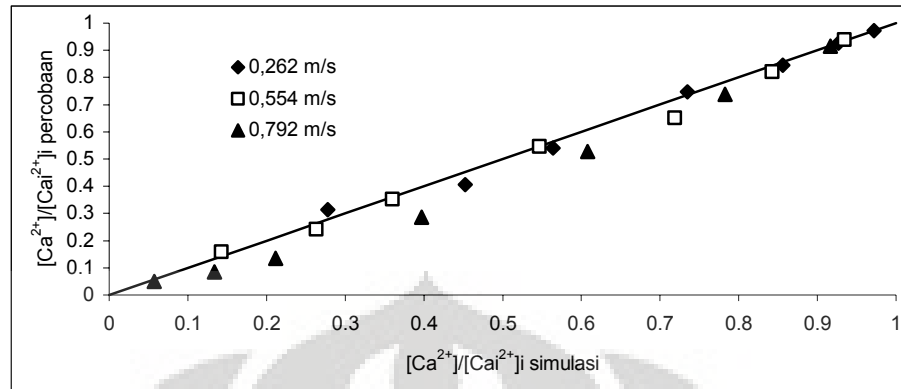
Dari data percobaan yang tersedia, dapat dilakukan pemodelannya. Percobaan dilakukan pada beberapa waktu sirkulasi dan dengan berbagai kondisi operasi, seperti kecepatan alir fluida, kuat medan magnet, panjang magnet, konsentrasi larutan sampel, dan volume sampel. Hasil dari pemodelan tersebut dibandingkan terhadap data percobaan yang didapat. Data hasil pemodelan dan data hasil percobaan diplot dalam satu kurva, sehingga dapat dilihat seberapa besar penyimpangannya.

4.2.1 Variasi Kecepatan Alir

Kecepatan alir fluida mempengaruhi proses presipitasi CaCO_3 pada sistem fluida dinamis, baik dengan magnetisasi, maupun tanpa magnetisasi. Dari data yang tersedia, kecepatan alir yang divariasikan yaitu 0,262 m/s; 0,554 m/s; dan 0,792 m/s. Hasil plot antara data hasil percobaan dan data hasil pemodelan dengan variasi laju alir ditunjukkan pada gambar 4.1 dan 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.1. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi kecepatan alir non-magnetisasi.



Gambar 4.2. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi kecepatan alir magnetisasi.

Penambahan kecepatan alir fluida dalam sistem fluida dinamik dapat meningkatkan presipitasi CaCO_3 . Nilai $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ semakin menurun seiring dengan bertambahnya laju alir fluida, baik pada sampel termagnetisasi, maupun pada sampel non-magnetisasi. Sampel dengan magnetisasi memiliki nilai $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ yang lebih kecil daripada sampel non-magnetisasi, hal ini berarti persen presipitasi yang terjadi pada sampel termagnetisasi lebih besar daripada sampel non-magnetisasi. Peningkatan kecepatan alir larutan mendorong lepasnya CO_2 terlarut dalam sampel sehingga pH sampel naik, hal ini menyebabkan meningkatkan presipitasi CaCO_3 yang akan menurunkan populasi ion Ca^{2+} dalam larutan. [20]. Medan magnet dapat meningkatkan nukleasi dan presipitasi. Semakin besar laju alir, maka semakin besar persen presipitasi CaCO_3 .

Kurva hasil pemodelan mempunyai penyimpangan yang tidak jauh dari kurva hasil percobaan. Tabel 4.4. berikut ini berisikan persen penyimpangan data hasil pemodelan terhadap data hasil percobaan.

Tabel 4.4. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil percobaan variasi laju alir.

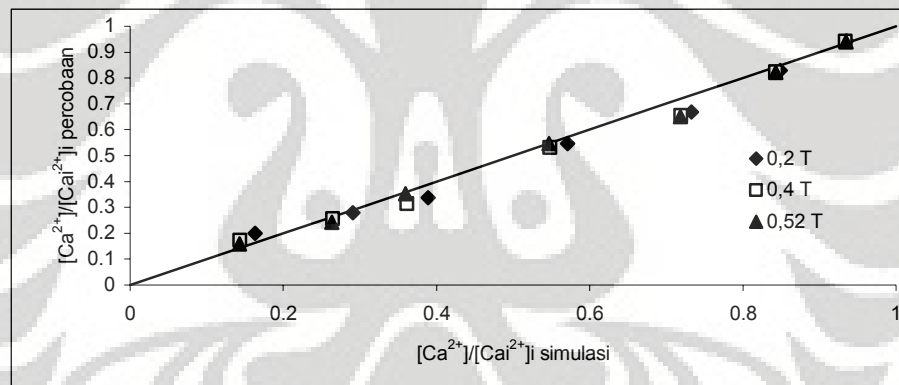
Laju Alir	% Penyimpangan Kurva	
	Nonmagnetisasi	Magnetisasi
0,262 m/s	1,84	4,33
0,554 m/s	2,27	4,89
0,792 m/s	4,40	27,46

Penyimpangan terbesar didapat pada kurva dengan laju alir 0,792 m/s sampel termagnetisasi., yaitu sebesar 27,46 %. Namun untuk kurva kecepatan alir

lainnya persen penyimpangan antara data hasil percobaan dengan data hasil pemodelan relatif kecil. Semakin besar kecepatan alir maka akan semakin kecil nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$, karena semakin banyak presipitasi $CaCO_3$ yang terjadi dalam larutan. Dari persamaan dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan alir maka nilai K_1 akan semakin besar, ($K_1 = k_o B_m \cdot v^n$). Dengan semakin besarnya nilai K_1 , maka akan semakin kecil nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$.

4.2.2. Variasi Kuat Medan Magnet

Medan magnet dapat mempengaruhi proses presipitasi $CaCO_3$. Oleh karena itu, intensitas kuatnya medan magnet berpengaruh terhadap proses presipitasi $CaCO_3$. Dari data yang tersedia, kuat medan magnet yang divariasikan yaitu : 0,2 T; 0,4 T; dan 0,52 T. Hasil plot antara data hasil percobaan dan data hasil pemodelan dengan variasi kuat medan magnet ditunjukkan pada gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3. Kurva hubungan data hasil percobaan dan data hasil simulasi variasi kuat medan magnet.

Medan magnet dapat meningkatkan proses presipitasi $CaCO_3$. Semakin tinggi kuat medan magnet, maka presipitasi $CaCO_3$ akan semakin meningkat. Pada sampel yang termagnetisasi terdapat efek gaya Lorentz yang menyebabkan ion-ion bermuatan dalam larutan, seperti ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} yang berada pada daerah *electrical double layer* mengalami pergeseran sehingga memicu terjadinya presipitasi $CaCO_3$.

Persen penyimpangan antara hasil percobaan dengan hasil simulasi memiliki nilai yang relatif kecil.

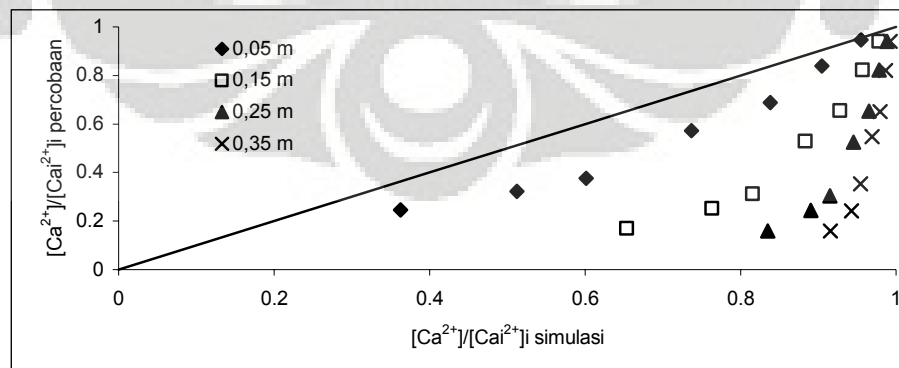
Tabel 4.5. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi kuat medan magnet.

Kuat Medan	% Penyimpangan Kurva
0,2 T	7,88
0,4 T	7,34
0,52 T	4,85

Dari tabel 4.5. di atas diperoleh bahwa nilai persen penyimpangan yang terbesar terdapat pada kuat medan 0,2 T yaitu sebesar 7,88 %. Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan juga relatif baik (Lampiran B). Sehingga persamaan (3.8) masih dapat digunakan untuk mengestimasi nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$. Dari persamaan (3.11) diperoleh bahwa besarnya kuat medan magnet (B) akan mempengaruhi nilai $k_0 B^m$. Semakin besar kuat medan magnet, maka nilai $k_0 B^m$ akan semakin besar, sehingga nilai K_1 menjadi besar pula. Nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ akan semakin mengecil dengan naiknya nilai K_1 . Namun berkurangnya nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ seiring dengan meningkatnya kuat medan magnet tidak terlalu signifikan. Ini berarti peningkatan persen presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan tidak terlalu signifikan dengan naiknya kuat medan magnet.

4.2.3. Variasi Panjang Magnet

Tujuan memvariasikan panjang medan magnet adalah untuk mengetahui seberapa besar efek panjang medan magnet terhadap prses presipitasi $CaCO_3$. Variasi panjang medan magnet yang digunakan yaitu 0,05 m; 0,15 m 0,25 m; dan 0,35 m. Hasil plot antara data hasil percobaan dan data hasil pemodelan dengan variasi panjang magnet ditunjukkan pada gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4. Kurva hubungan data hasil percobaan dan data hasil simulasi variasi panjang magnet.

Penambahan panjang magnet mengakibatkan area paparan induksi magnetik menjadi bertambah dan variasi induksi magnetik menjadi bertambah, karena magnet diposisikan secara inversi periodik. Susunan inversi periodik dapat meningkatkan efisiensi proses magnetisasi fluida dinamis karena meningkatnya variasi induksi magnetik [20]. Dengan bertambahnya panjang medan magnet waktu kontak antara sampel dengan medan magnet semakin besar. Semakin panjang medan magnet, maka nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ semakin kecil, hal ini disebabkan karena area paparan medan magnet bertambah luas sehingga mempercepat proses presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ simulasi yang berbeda jauh dengan nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ percobaan. Hal ini terlihat dari jauhnya titik-titik hubungan antara nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ simulasi dengan nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ percobaan yang berada jauh dari garis x sama dengan y yang merupakan garis bantu untuk melihat penyimpangan nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ simulasi dengan nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ percobaan.

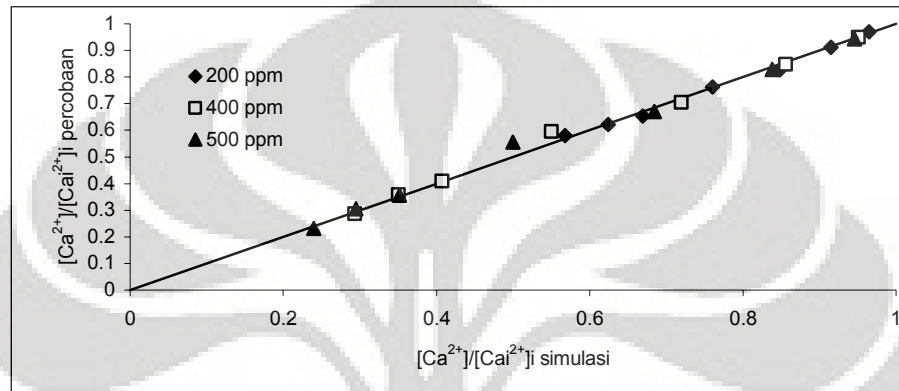
Tabel 4.6. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi panjang magnet.

Panjang Magnet	% Penyimpangan Kurva
0,05 m	32,17
0,15 m	110,85
0,25 m	149,04
0,35 m	155,84

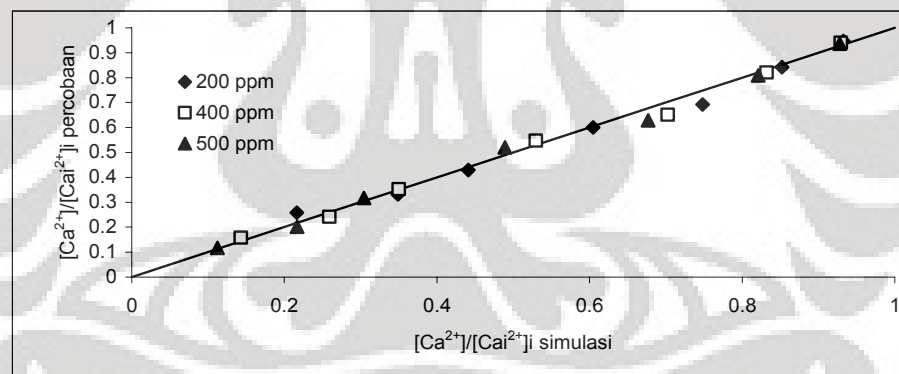
Dari tabel 4.6 dapat dilihat bahwa data hasil pemodelan mempunyai nilai yang jauh dari data hasil percobaan, sehingga akan mempunyai persen penyimpangan yang besar. Hal ini disebabkan karena data yang dihasilkan dari percobaan mempunyai trend yang kurang baik, jadi hasil regresi untuk mendapatkan nilai a dan b pada setiap panjang magnet mempunyai koefisien korelasi yang kurang baik, sehingga saat dilakukan regresi polinomial dari nilai a dan b untuk panjang magnet mempunyai koefisien korelasi yang kurang baik pula, hal ini menyebabkan persen penyimpangan yang besar jika persamaan tersebut disimulasi.

4.2.4. Variasi Konsentrasi Sampel

Variasi konsentrasi sampel ini bertujuan untuk melihat pengaruh medan magnet terhadap proses presipitasi CaCO_3 yang terjadi dalam larutan sampel. Variasi konsentrasi sampel yang digunakan yaitu : 200 ppm; 400 ppm; dan 500 ppm CaCO_3 . Hasil plot antara data hasil percobaan dan data hasil pemodelan dengan variasi laju alir ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.5. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi konsentrasi larutan sampel non-magnetisasi.



Gambar 4.6. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi konsentrasi larutan sampel magnetisasi.

Dari gambar 4.5 dan 4.6 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi sampel, maka akan semakin besar persen presipitasi CaCO_3 , baik sampel yang dimagnetisasi maupun nonmagnetisasi. Dan nilai persen presipitasi untuk sampel magnetisasi lebih besar daripada sampel nonmagnetisasi. Hal ini terlihat dari semakin menurunnya nilai $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ seiring dengan bertambahnya konsentrasi sampel. Dengan adanya gaya Lorentz dari efek medan magnet, akan

memicu presipitasi, khususnya untuk larutan konsentrasi tinggi atau dengan larutan konsentrasi lewat jenuh.

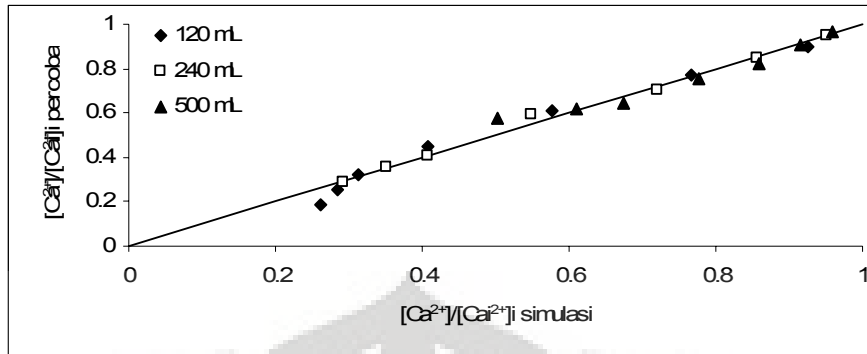
Tabel 4.7. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi konsentrasi larutan sampel.

Konsentrasi	% Penyimpangan Kurva	
	Nonmagnetisasi	Magnetisasi
200 ppm	1,31	5,06
400 ppm	2,27	4,45
500 ppm	3,01	4,36

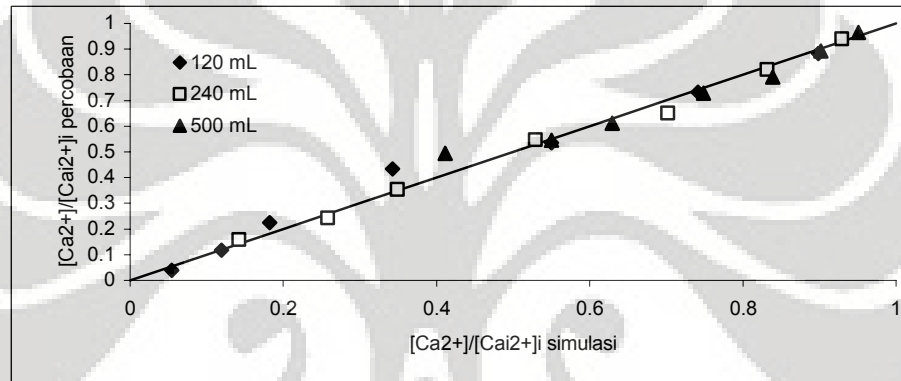
Dari tabel 4.7. di atas diperoleh bahwa nilai persen penyimpangan yang terbesar terdapat pada konsentrasi sampel 200 ppm untuk sampel yang termagnetisasi, yaitu sebesar 5,06 %. Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan juga relatif baik (Lampiran B). Sehingga persamaan (3.8) masih dapat digunakan untuk mengestimasi nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$. Penambahan konsentrasi sampel mempengaruhi persen presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan, baik yang dimagnetisasi maupun sampel nonmagnetisasi. Pada persamaan (3.8), konsentrasi sampel mempunyai hubungan terbalik dengan nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$. Sehingga semakin besar konsentrasi sampel, maka akan semakin besar persen presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan.

4.2.5. Variasi Volume Sampel

Memvariasikan volume sampel bertujuan untuk mengetahui pengaruh medan magnet terhadap volume sampel yang berbeda-beda. Variasi volume sampel yang digunakan yaitu : 120 mL, 240 mL, dan 500 mL. Hasil plot antara data hasil percobaan dan data hasil pemodelan dengan variasi laju alir ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.7. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi volume larutan sampel non-magnetisasi.



Gambar 4.8. Kurva hubungan data hasil percobaan dengan data hasil simulasi pada variasi volume larutan sampel magnetisasi.

Dari gambar 4.7 dan 4.8 terlihat bahwa semakin besar nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$, maka akan semakin besar volume larutannya, baik sampel yang dimagnetisasi, maupun sampel non-magnetisasi. Volume sampel yang besar akan mempunyai efek sirkulasi yang kecil, jadi dengan volume yang besar, maka lebih sedikit sampel yang tersirkulasi karena semakin banyak sampel yang tertahan pada wadah sampel, sehingga akan mengurangi persen presipitasinyadalam suatu waktu tertentu.

Tabel 4.8. Persen penyimpangan antara data hasil pemodelan dengan data hasil pemodelan variasi volume larutan sampel.

Volume	% Penyimpangan Kurva	
	Nonmagnetisasi	Magnetisasi
120 mL	10,74	12,68
240 mL	2,27	4,50
500 mL	3,73	4,61

Dari tabel 4.8. di atas diperoleh bahwa nilai persen penyimpangan yang terbesar terdapat pada volume sampel 120 mL untuk sampel yang termagnetisasi, yaitu sebesar 12,68 %. Nilai koefisien korelasi yang dihasilkan juga relatif baik (Lampiran B). Sehingga persamaan (3.8) masih dapat digunakan untuk mengestimasi nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ dari variasi volume. Jika dilihat dari persamaan (3.9), volume larutan mempengaruhi waktu magnetisasi. Semakin besar volume maka akan semakin kecil waktu magnetisasi. Dengan berkurangnya waktu magnetisasi, maka banyaknya sampel yang terkena paparan medan magnet akan semakin berkurang, hal ini akan mengurangi persen presipitasi yang terjadi dalam larutan. Sehingga nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ akan semakin besar jika volume sampel bertambah.

4.3 Perhitungan Presipitasi $CaCO_3$ Dengan Metode Dilatasi

Proses dilatasi bertujuan untuk mengetahui nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ hasil pemodelan jika kondisi proses yang diinginkan di luar dari persamaan a dan b dari variabel proses yang terdapat pada tabel 4.2. Sebagai contoh, perhitungan presipitasi hasil dilatasi pada laju alir 0,792 m/s kuat medan 0,2 T panjang magnet 0,35 m volume sampel 240 mL; dan konsentrasi sampel 4 mol /m³ adalah sebagai berikut :

Langkah awal adalah mendapatkan nilai a dan b pada kuat medan 0,2 T dan 0,52 T dari persamaan a(B) dan b(B) pada tabel 4.2.

$$a(B) = 0,4292 B^2 - 0,429 B - 0,9605$$

$$a(B=0,2T) = -1,02913; a(B=0,52 T) = -1,06752$$

$$b(B) = -1,8401 B^2 + 2,3721 B + 2,9232$$

$$b(B=0,2T) = 3,32402; b(B=0,52T) = 3,659129$$

Selanjutnya dipilih satu variabel proses yang akan didilatasi kuat medannya, misalnya adalah kecepatan alir larutan. Nilai a dan b pada kuat medan 0,2 T merupakan data hasil dilatasi turun, karena kuat medan yang digunakan pada variasi kecepatan alir sebesar 0,52 T. Persamaan a(v) dan b(v) sebagaimana yang terdapat pada tabel 4.2. adalah sebagai berikut :

$$a(v) = -1,5952v^2 + 1,3921 v - 1,3481$$

$$b(v) = 11,171v^2 - 12,273v + 7,023$$

Kemudian dibuat persamaan $a'(v)$ dan $b'(v)$ untuk kuat medan 0,2 T dengan metode dilatasi dari persamaan $a(v)$ dan $b(v)$ yang mempunyai kuat medan 0,52 T.

$$a'(v) = \frac{a(B = 0,2T)}{a(B = 0,52T)} \times a(v)$$

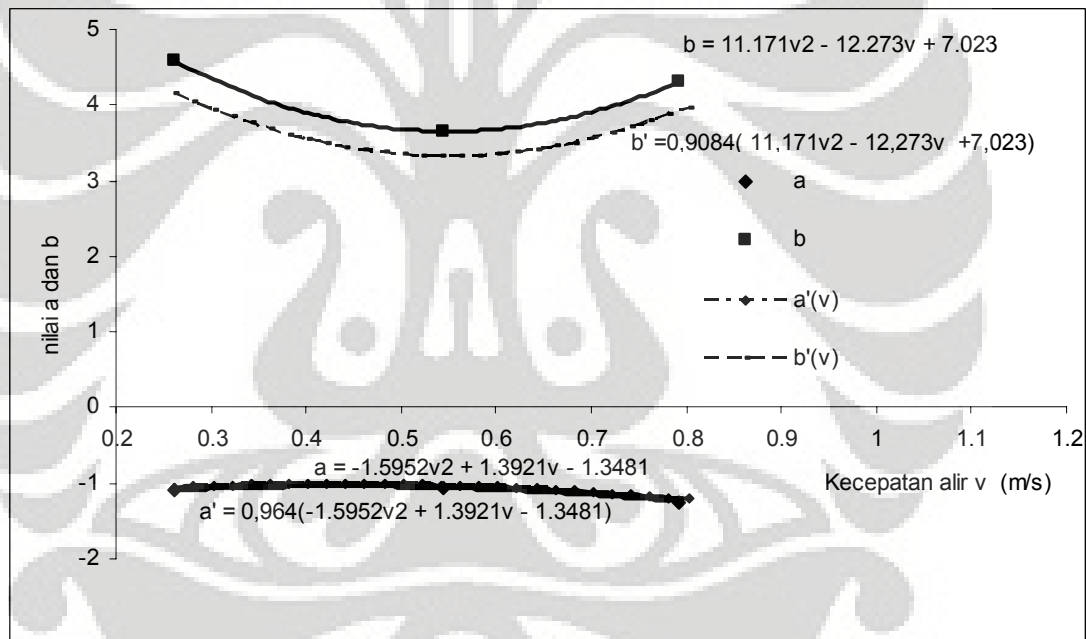
$$a'(v) = 0,964(-1,5952v^2 + 1,3921v - 1,3481)$$

Jika diinginkan kecepatan alir sebesar 0,792 m/s dan kuat medan magnet sebesar 0,2 T maka diperoleh nilai $a'(v=0,792 \text{ m/s})$ sebesar -1,02135.

$$b'(v) = \frac{a(B = 0,2T)}{a(B = 0,52T)} \times b(v)$$

$$b'(v) = 0,9084(11,171v^2 - 12,273v + 7,023)$$

Jika diinginkan laju alir sebesar 0,792 m/s dan kuat medan magnet sebesar 0,2 T maka diperoleh nilai $b'(v=0,792 \text{ m/s})$ sebesar 3,9152.



Gambar 4.9. Kurva $a'(v)$ dan $b'(v)$ hasil dilatasi dari kurva $a(v)$ dan $b(v)$.

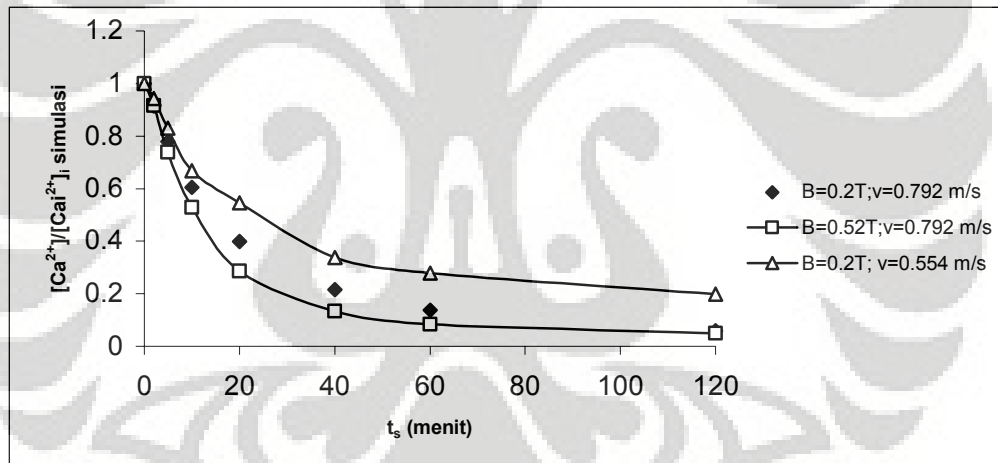
Gambar 4.9 merupakan kurva hasil dilatasi turun kuat medan magnet dari 0,52 T menjadi 0,2 T pada berbagai kecepatan alir proses dari 0,262 m/s – 0,792 m/s. Persen rasio dilatasi turun dari kuat medan pada nilai $a(v)$ sebesar 3,6 % dan $b(v)$ sebesar 9,2 %. Semakin besar persen dilatasi maka akan semakin tinggi tingkat kesalahan yang terjadi. Sehingga efektifitas metode dilatasi yang

digunakan dalam persamaan ini bergantung pada persamaan a dan b dari kondisi acuan.

Tabel 4.9. berikut ini merupakan hasil simulasi nilai Ca/Cai dengan menggunakan persamaan $a'(B)$ dan $b'(B)$ dari hasil dilatasi turun pada kuat medan magnet pada kecepatan alir 0,792 m/s kuat medan 0,2 T panjang magnet 0,35 m volume sampel 240 mL; dan konsentrasi sampel 4 mol /m³.

Tabel 4.9. Hasil simulasi Ca/Cai selama 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,792$ m/s; $B = 0,2T$; $L_m = 0,35$ m; $V = 240$ mL; dan $C_{ai} = 4$ mol/m³.

Ca/Cai	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
0,913382583	0,017860681	0,167755558	-1,226401754	4,086141024	4,9455	120
0,778479266	0,017860681	0,0545309	-1,226401754	4,086141024	12,3638	300
0,60532584	0,017860681	0,02330553	-1,226401754	4,086141024	24,7275	600
0,398559146	0,017860681	0,00996036	-1,226401754	4,086141024	49,455	1200
0,215113449	0,017860681	0,00425688	-1,226401754	4,086141024	98,91	2400
0,137111029	0,017860681	0,002589	-1,226401754	4,086141024	148,365	3600
0,059183713	0,017860681	0,00110649	-1,226401754	4,086141024	296,73	7200



Gambar 4.10. Kurva $[Ca^{2+}/Ca_i^{2+}]$ pada laju alir 0,792 m/s kuat medan 0,2 T panjang magnet 0,35 m volume sampel 240 mL; dan konsentrasi sampel 4 mol /m³.

Tabel 4.9 merupakan hasil simulasi pada kecepatan alir 0,792 m/s kuat medan 0,2 T panjang magnet 0,35 m volume sampel 240 mL; dan konsentrasi sampel 4 mol /m³; namun hasil tersebut tidak dapat dibandingkan dengan data hasil percobaan, karena tidak tersedianya data pada kondisi operasi tersebut. Dalam hal ini data hasil simulasi tersebut dibandingkan dengan data hasil percobaan dari nilai kondisi operasi yang terdekat, seperti pada gambar 4.10. Gambar tersebut menunjukkan hasil simulasi pada dilatasi turun untuk kuat medan magnet masih berada dalam rentang kurva dari data yang terdekat, ini berarti hasil simulasi

tersebut masih dapat digunakan untuk mengestimasi nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ di luar kondisi proses acuan. Namun demikian untuk mendapatkan validasi yang lebih akurat maka tetap dibutuhkan data percobaan pada kondisi proses tersebut untuk mendapatkan persentase kesalahan hasil simulasi.

Tabel 4.10 Persen rasio dilatasi a dan b pada berbagai variabel proses terhadap harga a dan b acuan untuk sampel termagnetisasi dalam rentang data percobaan.

Variabel proses	Persen Dilatasi			
	Dilatasi naik		Dilatasi turun	
	a	b	a	b
Kecepatan alir Acuan : 0,554 m/s Rentang data : 0,262-0,792 m/s	16,85	18,01	2,48	25,24
Kuat medan Acuan : 0,52 T Rentang data : 0,2-0,52 T	-	-	3,60	9,16
Panjang magnet Acuan : 0,35 m Rentang data : 0,05-0,35 m	-	-	9,90	16,21
Konsentrasi larutan Acuan : 4 mol/m ³ Rentang data : 2-5 mol/m ³	5,89	8,55	10,43	14,27
Volume larutan Acuan : 240 mL Rentang data : 120-240 mL	32,85	23,48	12,90	10,36

Tabel 4.10 menunjukkan hasil persen dilatasi maksimum pada berbagai kondisi operasi dengan rentang data kondisi operasi. Untuk variabel proses kuat medan magnet dan panjang magnet tidak ada dilatasi naik karena percobaan dilakukan dengan kondisi yang optimum sebagai acuan, sehingga hanya dapat didilatasi turun ke arah kondisi yang minimum. Nilai persentase dilatasi a dan b tertinggi di dapat pada dilatasi naik variabel proses volume dengan nilai a sebesar 32,85 % dan nilai b sebesar 23,48 %.

4.4. Waktu Efektif Magnetisasi

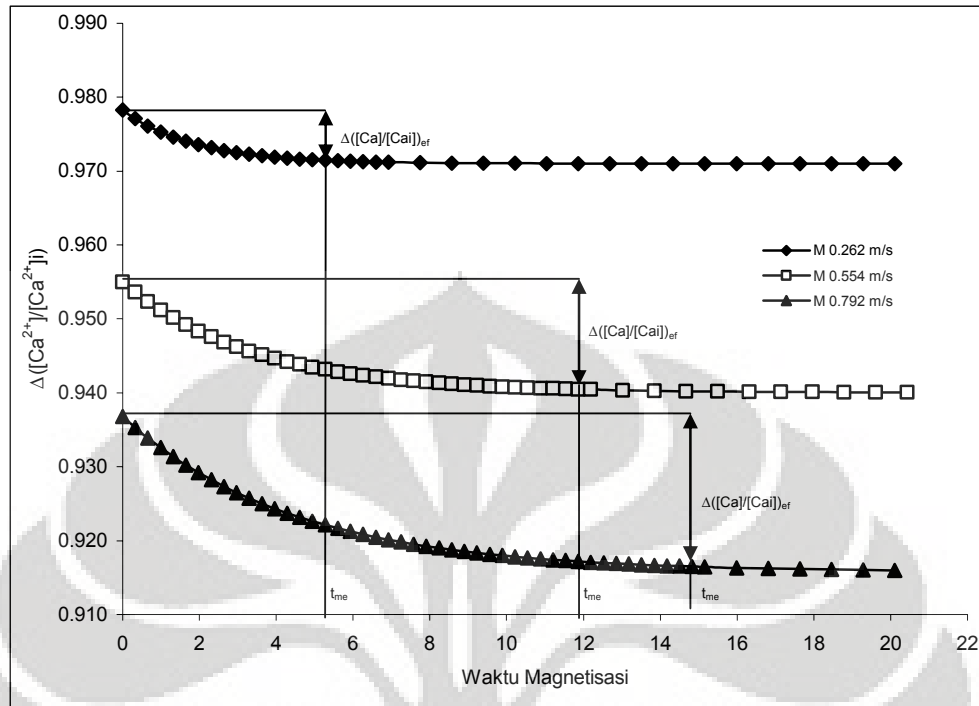
Waktu efektif magnetisasi (t_{me}) adalah waktu pada saat magnetisasi masih mempunyai pengaruh terhadap proses presipitasi $CaCO_3$. Jika proses magnetisasi dilanjutkan hingga melebihi waktu efektif magnetisasinya, maka magnetisasi tidak akan berpengaruh terhadap proses presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan, sehingga proses menjadi tidak efisien lagi. Waktu efektif magnetisasi diperoleh

dari plot kurva waktu magnetisasi terhadap $\Delta(C_a/C_{ai})$. Nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ merupakan besarnya penurunan C_a/C_{ai} yang dapat dicapai pada waktu tertentu. Saat tercapai waktu efektif magnetisasi, penurunan C_a/C_{ai} tidak terjadi lagi, sehingga didapat penurunan C_a/C_{ai} efektif ($\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$). Besarnya nilai waktu efektif magnetisasi dan $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ merupakan parameter efektivitas magnetisasi larutan CaCO_3 untuk sistem sirkulasi fluida dinamik.

Meningkatnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ disebabkan oleh meningkatnya persen presipitasi relatif antara sampel yang dimagnetisasi dengan sampel non-magnetisasi, karena medan magnet dapat menaikkan persen presipitasi CaCO_3 pada sistem fluida dinamik. Dengan pemodelan dapat diprediksi nilai waktu efektif magnetisasi dan $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Variabel K_2 dibuat konstan untuk menghilangkan efek sirkulasi pada presipitasi CaCO_3 .

4.4.1. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kecepatan Alir

Kecepatan alir fluida dapat mempengaruhi proses presipitasi yang terjadi dalam larutan CaCO_3 . Sehingga kecepatan alir dapat berpengaruh terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Gambar 4.11 di bawah ini menunjukkan hubungan waktu magnetisasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ pada beberapa kecepatan alir fluida.



Gambar 4. 11. Kurva hubungan waktu magnetisasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ dengan variasi kecepatan alir.

Dari gambar 4.11 di atas menggambarkan bahwa semakin besar laju alir, maka akan semakin lama waktu magnetisasi efektifnya. Dari kurva di atas juga diperoleh bahwa semakin besar laju alir, maka akan semakin besar nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$, ini berarti presipitasi $CaCO_3$ yang terjadi dalam larutan semakin tinggi. Tabel 4.11 memperlihatkan waktu efektif magnetisasi dan $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ yang nilainya semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan alir.

Tabel 4.11. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan laju alir pada 120 menit sirkulasi dengan $B = 0,52$ T; $L_m = 0,35$ m; $v = 0,554$ m/s; $[Ca_i] = 4$ mol/m³; dan $V = 240$ mL.

Kecepatan alir (m/s)	t_{me} (s)	$\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$
0,262	5,3	0,007
0,554	11,9	0,015
0,792	14,8	0,021

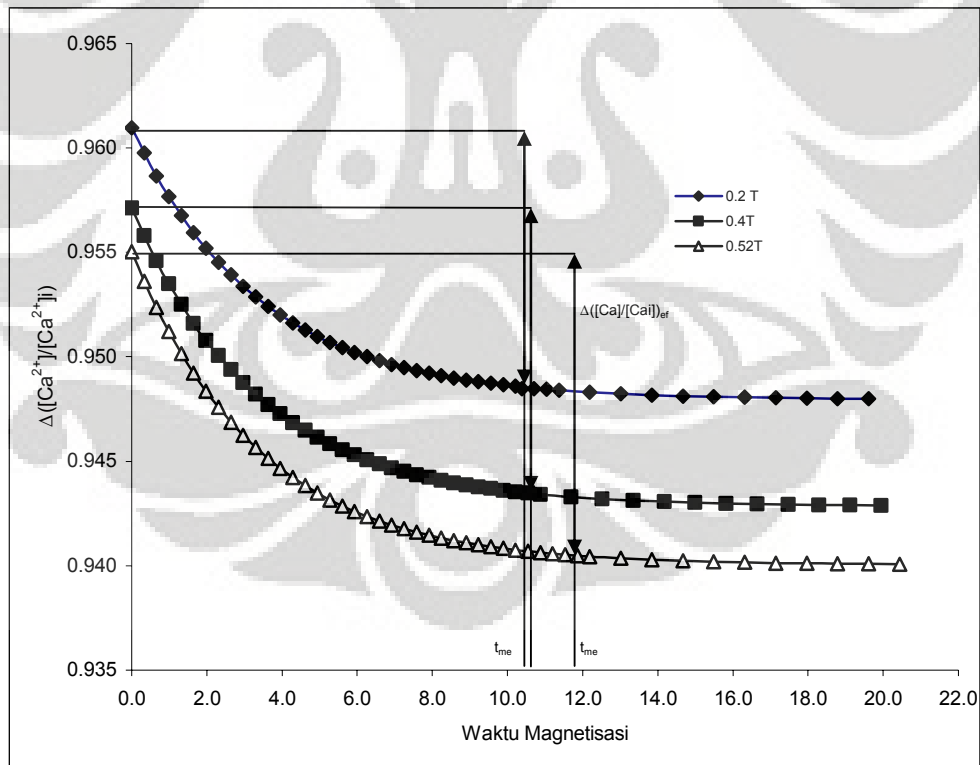
Kecepatan alir dapat mempengaruhi presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan. Dengan adanya sirkulasi membuat gas CO_2 yang terlarut dalam larutan sampel akan terdesorpsi sehingga pH larutan akan naik. Semakin cepat laju alir larutan, maka proses desorpsi CO_2 dalam larutan akan semakin cepat, sehingga pH larutan

juga akan meningkat dengan cepat. Peningkatan pH ini akan mendorong presipitasi CaCO_3 . [20].

Sebagai referensi, terdapat data percobaan untuk waktu efektif magnetisasi pada kondisi $B = 0,52 \text{ T}$; $L_m = 0,35 \text{ m}$; $v = 0,554 \text{ m/s}$; $[\text{Ca}_i] = 4 \text{ mol/m}^3$; $V = 240 \text{ mL}$; $\text{pH} = 6,4$; dan $T = 28^\circ\text{C}$, didapat waktu efektif magnetisasi sebesar 14,83 detik. Dari hasil simulasi pada kondisi yang sama, waktu efektif magnetisasi yang didapat sebesar 11,9 detik. Perbedaan ini dapat disebabkan karena keterbatasan interval waktu pengukuran $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]_i$ di larutan.

4.4.2. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kuat Medan Magnet

Intensitas kuatnya medan magnet dapat mempengaruhi proses presipitasi yang terjadi dalam larutan CaCO_3 . Sehingga kuat medan magnet dapat berpengaruh terhadap nilai $\Delta(\text{Ca}/\text{Ca}_i)_{\text{ef}}$. Gambar 4.12 di bawah ini menunjukkan hubungan waktu magnetisasi terhadap nilai $\Delta(\text{Ca}/\text{Ca}_i)_{\text{ef}}$ pada beberapa kuat medan magnet.



Gambar 4. 12. Kurva hubungan waktu magnetisasi terhadap nilai $\Delta(\text{Ca}/\text{Ca}_i)$ dengan variasi kuat medan magnet.

Gambar 4.12 menunjukkan waktu efektif magnetisasi terhadap penurunan $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$. Terlihat bahwa waktu efektif magnetisasi akan bertambah seiring dengan bertambahnya kuat medan magnet dan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ semakin besar pula. Tabel 4.12 di bawah ini memperlihatkan waktu efektif magnetisasi dan $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ yang nilainya semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kuat medan magnet.

Tabel 4.12. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan kuat medan magnet pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $L_m = 0,35$ m; $v = 0,554$ m/s; $[Ca_i] = 4$ mol/m³; dan $V = 240$ mL.

Kuat Medan Magnet (T)	t_{me} (s)	$\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$
0,2	10,4	0,013
0,4	10,5	0,014
0,52	11,9	0,015

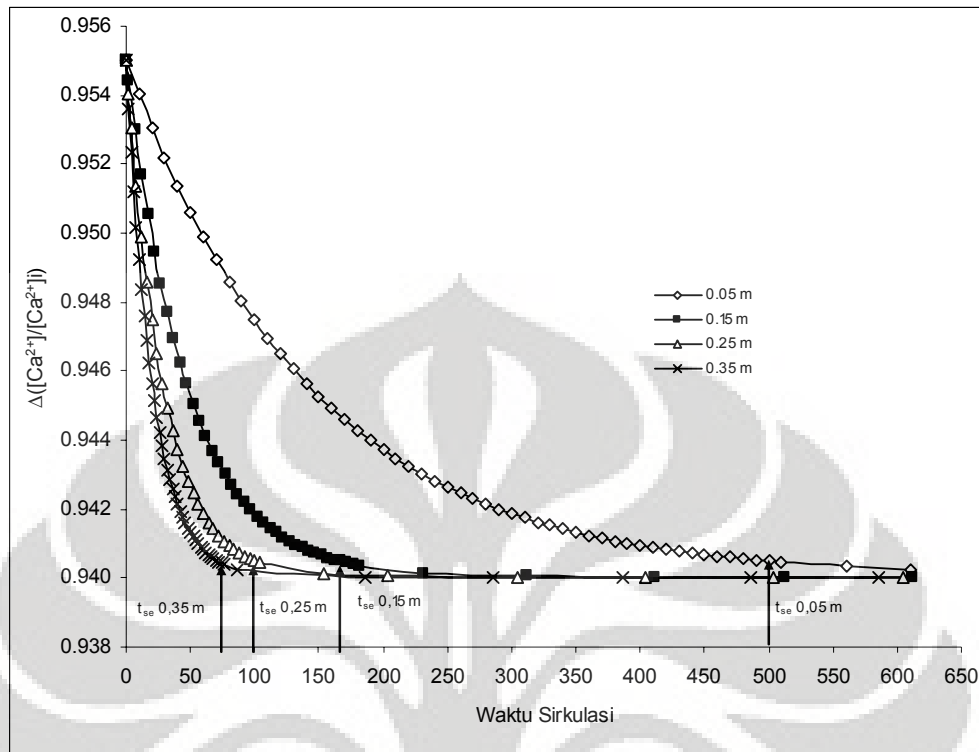
Dengan bertambahnya kuat medan magnet, maka persen presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan akan bertambah. Namun penambahan persen presipitasi tidak terlalu signifikan dengan bertambahnya kuat medan magnet. Waktu efektif magnetisasi juga hanya bertambah sedikit dengan bertambahnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$. Adanya medan magnet pada fluida yang disirkulasi akan memberikan efek magnetohidrodinamika yang menyebabkan *shear stress* pada bagian dinding sehingga meningkatkan nukleasi dan presipitasi. [13].

4.4.3. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Panjang Magnet

Berikut ini adalah tabel 4.13 yang berisikan waktu efektif magnetisasi dan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ pada variasi panjang magnet. Dan juga gambar 4.13 yang menggambarkan hubungan waktu sirkulasi dengan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$.

Tabel 4.13. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan panjang magnet pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $[Ca_i] = 4$ mol/m³; dan $V = 240$ mL.

Panjang magnet (m)	t_{me} (s)	$\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$
0,05	11,8	0,015
0,15	11,8	0,015
0,25	11,8	0,015
0,35	11,8	0,015



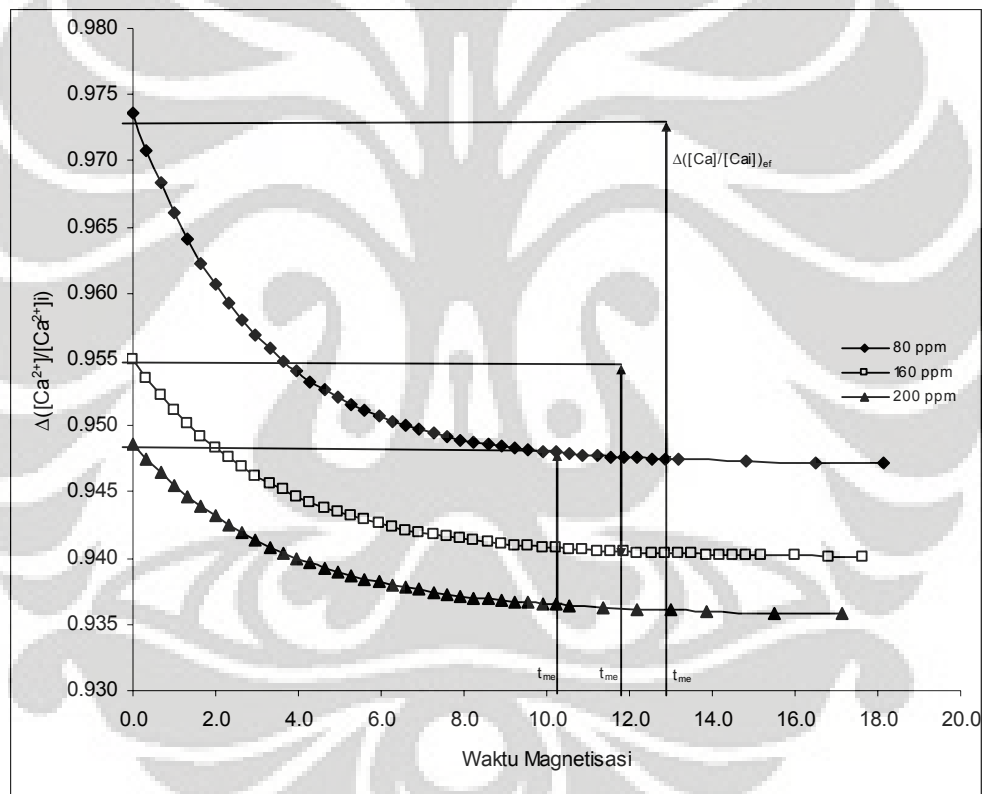
Gambar 4.13. Kurva hubungan waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ dengan variasi panjang medan magnet.

Pada variasi panjang magnet didapat waktu efektif magnetisasi yang sama pada berbagai panjang magnet, yaitu sebesar 11,8 detik. Nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ juga sama untuk berbagai panjang magnet, yaitu sebesar 0,015. Dalam hal ini, untuk setiap variabel proses yang sama, penambahan panjang magnet tidak mempengaruhi besarnya waktu efektif magnetisasi dan juga tidak mempengaruhi besarnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$, sehingga persen presipitasi dalam sampel akan tetap sama walaupun dengan penambahan panjang magnet. Penambahan panjang magnet berpengaruh terhadap waktu sirkulasi (t_{se}), oleh karena itu, plot kurva pada gambar 4.13 adalah hubungan antara waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Harga t_{se} untuk panjang magnet 0,05 m, 0,15 m, 0,25 m, dan 0,35 m masing-masing sebesar 500 detik, 167 detik, 100 detik, dan 74 detik. Penambahan panjang magnet hanya untuk mempercepat proses magnetisasi. Jadi dengan panjang magnet 0,05 m, maka untuk mencapai nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ sebesar 0,015 membutuhkan waktu 500 detik, namun jika digunakan panjang magnet sebesar 0,35 m, maka untuk mencapai nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ sebesar 0,015 hanya

membutuhkan waktu 74 detik. Sehingga dengan penambahan panjang area paparan medan magnet tidak memperbesar persen presipitasi dalam larutan, namun hanya mempercepat tercapainya waktu sirkulasi efektif (t_{se}) hingga mencapai persen presipitasi maksimum yang bisa dicapai.

4.4.4 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan dapat mempengaruhi presipitasi yang terjadi dalam larutan CaCO_3 . Sehingga konsentrasi larutan dapat berpengaruh terhadap nilai $\Delta(\text{Ca}/\text{Cai})_{ef}$. Gambar 4.14 di bawah ini menunjukkan hubungan waktu magnetisasi terhadap nilai $\Delta(\text{Ca}/\text{Cai})_{ef}$ pada berbagai konsentrasi larutan.



Gambar 4.14. Kurva hubungan waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(\text{C}_a/\text{C}_{ai})$ dengan variasi konsentrasi larutan sampel.

Gambar 4.14 merupakan kurva hubungan waktu magnetisasi dengan $\Delta(\text{Ca}/\text{Cai})$. Terlihat bahwa semakin besar konsentrasi larutan sampel, maka waktu efektif magnetisasi akan semakin kecil. Dan dengan naiknya konsentrasi maka nilai $\Delta(\text{Ca}/\text{Cai})_{ef}$ akan semakin kecil, ini berarti laju presipitasi CaCO_3 dalam larutan sampel menjadi berkurang. Tabel 4.14 di bawah ini memperlihatkan waktu

efektif magnetisasi dan $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ yang nilainya semakin berkurang seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan sampel.

Tabel 4.14. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan konsentrasi larutan sampel pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $L_m = 0,35$ m; dan $V = 240$ mL.

Konsentrasi Cai (M)	t_{me} (s)	$\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$
0,002	12,9	0,027
0,004	11,9	0,015
0,005	10,2	0,013

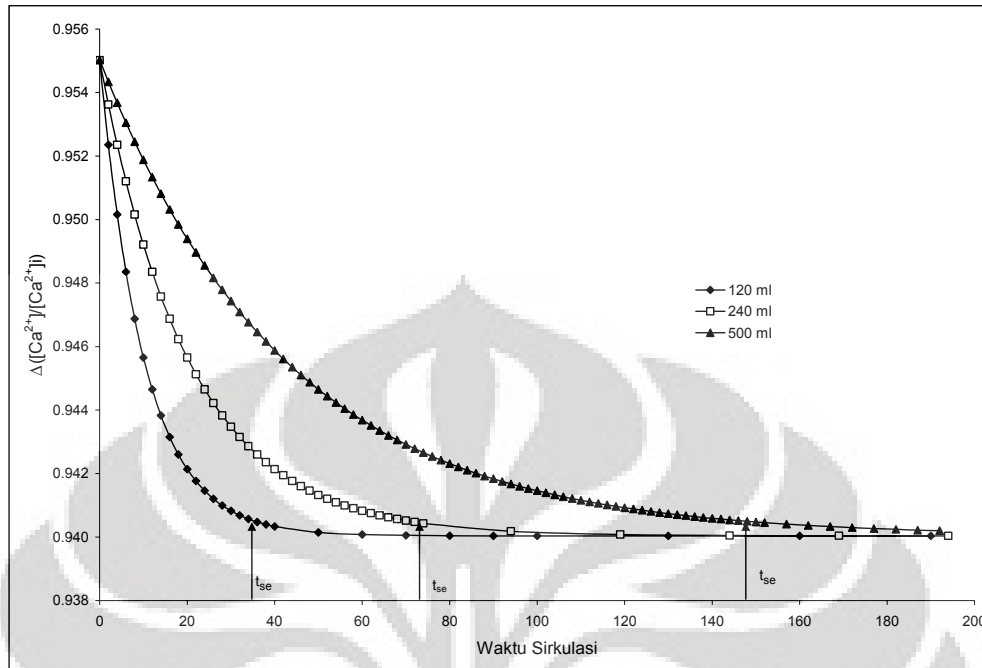
Dari tabel 4.14 terjadi penurunan nilai t_{me} dan juga nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ dengan naiknya konsentrasi larutan. Hal ini menunjukkan bahwa menurunnya efek medan magnet terhadap proses presipitasi $CaCO_3$ seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan. Konsentrasi larutan yang semakin tinggi akan meningkatkan interaksi ion yang terjadi karena harga supersaturasi meningkat, sehingga akan mengurangi efek medan magnet dalam mendorong terjadinya presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan.

4.4.5. Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Volume Larutan

Berikut ini adalah tabel 4.15 yang berisikan waktu efektif magnetisasi dan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ pada variasi volume larutan. Dan juga gambar 4.15 yang menggambarkan hubungan waktu sirkulasi dengan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$.

Tabel 4.15. Waktu magnetisasi efektif terhadap kenaikan volume larutan sampel pada 120 menit sirkulasi dengan $v = 0,552$ m/s; $B = 0,52$ T; $v = 0,554$ m/s; $L_m = 0,35$ m; dan $[Ca_i] = 4$ mol/m³.

Volume (mL)	t_{me} (s)	$\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$
120	11,9	0,015
240	11,9	0,015
500	11,7	0,015



Gambar 4.15. Kurva hubungan waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ dengan variasi volume larutan sampel.

Pada variasi volume larutan didapat waktu efektif magnetisasi yang sama pada berbagai volume, yaitu sebesar 11,9 detik. Nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ juga sama untuk berbagai panjang magnet, yaitu sebesar 0,015. dalam hal ini, untuk setiap variabel proses yang sama, penambahan volume larutan tidak mempengaruhi waktu efektif magnetisasi dan juga tidak mempengaruhi besarnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$, sehingga persen presipitasi dalam sampel akan tetap sama walaupun dengan penambahan volume larutan sampel. Penambahan volume larutan sampel berpengaruh terhadap waktu sirkulasi (t_{se}), oleh karena itu, plot kurva pada gambar 4.15 adalah hubungan antara waktu sirkulasi terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Harga t_{se} untuk volume larutan 120 mL; 240 mL dan 500 mL masing-masing sebesar 36 detik, 72 detik, dan 148 detik. Pengurangan volume larutan hanya untuk mempercepat proses magnetisasi, dengan volume larutan 120 mL, maka untuk mencapai nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ sebesar 0,015 membutuhkan waktu 36 detik, namun jika volume larutan sebesar 500 mL, maka untuk mencapai nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ sebesar 0,015 membutuhkan waktu 148 detik. Sehingga dengan berkurangnya volume larutan sampel tidak memperbesar persen presipitasi dalam larutan, namun hanya

mempercepat tercapainya waktu sirkulasi efektif (t_{se}) hingga mencapai persen presipitasi maksimum yang bisa dicapai.

4.5. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR)

Persen kenaikan presipitasi relatif (PKPR) merupakan rasio kenaikan persen presipitasi larutan sampel yang dimagnetisasi dibandingkan dengan sampel nonmagnetisasi setelah waktu tertentu, dalam hal ini waktu yang digunakan sebesar 120 menit sirkulasi. PKPR dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PKPR = 100 * \frac{(M - NM)}{NM}$$

dengan : PKPR = persen kenaikan presipitasi relatif

M = Persen presipitasi sampel termagnetisasi selama 120 menit sirkulasi

NM = Persen presipitasi sampel non-magnetisasi selama 120 menit sirkulasi

4.5.1. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Kecepatan Alir

Tabel 4.16. di bawah ini berisikan persen kenaikan presipitasi relatif CaCO_3 terhadap kenaikan laju alir pada 120 menit sirkulasi.

Tabel 4.16. Persen kenaikan presipitasi relatif CaCO_3 terhadap kenaikan laju alir pada 120 menit sirkulasi dengan $B = 0,52 \text{ kG}$; $L_m = 0,35 \text{ m}$; $v = 0,554 \text{ m/s}$, $\text{Ca}_i : 4 \text{ mol/m}^3$; pH awal larutan 6,4; $V = 240 \text{ mL}$ dan $T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$.

Laju alir (m/s)	% Presipitasi percobaan		% Presipitasi simulasi		PKPR	
	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	Percobaan	Simulasi
0.262	68,6	60	72,23	60,79	14,3	18,81779
0.554	84,2	71,3	85,71	70,65	18,1	21,31047
0.792	95	75,3	94,24	74,36	26,2	26,72878

Persen kenaikan presipitasi relatif menunjukkan presipitasi CaCO_3 dalam sampel setelah sirkulasi 120 menit. Dari tabel 4.16. menunjukkan nilai PKPR yang semakin naik seiring dengan bertambahnya laju alir. Dengan adanya medan magnet didapat hasil persen presipitasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa medan magnet, sehingga akan menaikkan nilai PKPR. Hal ini menunjukkan adanya efek medan magnet terhadap proses presipitasi CaCO_3 . Pada sistem fluida dianmis medan magnet menimbulkan efek magnetohidrodinamika, yaitu

timbulnya *shear stress* di bagian dinding yang terlokalisir. Efek magnetohidrodinamika ini akan mengubah profil aliran menjadi turbulen, sehingga akan meningkatkan nukleasi dan presipitasi. [13]. Bertambahnya nilai PKPR juga dipengaruhi oleh bertambahnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Hal ini menunjukkan kenaikan presipitasi di awal presipitasi akibat magnetisasi, akan berpengaruh pada kenaikan presipitasi yang terjadi selanjutnya.

4.5.2. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Kuat Medan Magnet

Tabel 4.17. di bawah ini berisikan persen kenaikan presipitasi relatif $CaCO_3$ terhadap kenaikan kuat medan magnet pada 120 menit sirkulasi.

Tabel 4.17. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai kuat medan dengan $Ca_i=4$ mol/m³; $L_m=0,35$ m; $v=0,554$ m/s; $V=240$ mL dan pH awal 8,5

Panjang magnet	% Presipitasi percobaan		PKPR Percobaan
	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	
0.05	75,3	71,3	5,61
0.15	83	71,3	16,41
0.25	84,1	71,3	17,92
0.35	84,2	71,3	18,03

Medan magnet mempunyai pengaruh terhadap proses presipitasi $CaCO_3$. Dengan adanya medan magnet maka presipitasi $CaCO_3$ total yang terjadi pada sampel pada sistem fluida dinamik akan meningkat. Oleh karena itu, intensitas kuatnya medan magnet juga berpengaruh terhadap proses presipitasi $CaCO_3$ yang terjadi dalam larutan. Dari tabel 4.17. diperoleh peningkatan nilai PKPR seiring dengan naiknya kuat medan magnet. Hal ini berarti semakin kuat medan magnet yang digunakan, maka semakin besar persen presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan.

4.5.3. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Panjang Magnet

Tabel 4.18. di bawah ini berisikan persen kenaikan presipitasi relatif $CaCO_3$ terhadap kenaikan panjang magnet pada 120 menit sirkulasi.

Tabel 4.18. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai panjang magnet dengan $C_{a_i}=4 \text{ mol/m}^3$; $B=0,52\text{T}$; $v=0,554 \text{ m/s}$; $V=240 \text{ mL}$ dan pH awal 8,5.

Panjang magnet	% Presipitasi percobaan		PKPR Percobaan
	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	
0,05	75,3	71,3	5,61
0,15	83	71,3	16,41
0,25	84,1	71,3	17,92
0,35	84,2	71,3	18,03

Menambah panjang magnet berarti memperluas area paparan medan magnet terhadap larutan dan meningkatkan waktu kontak sampel dengan medan magnet. Berarti dengan penambahan panjang magnet maka akan mempengaruhi proses presipitasi dalam larutan. Hal ini dapat terlihat pada tabel 4.18. dimana nilai PKPR bertambah seiring dengan bertambahnya panjang magnet. Hasil tersebut sesuai dengan percobaan Gabrielli (2001) dimana magnet yang disusun secara inversi periodik dapat meningkatkan variasi induksi magnetik sehingga akan meningkatkan efisiensi proses magnetisasi.

4.5.4. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Konsentrasi Larutan Sampel

Tabel 4.19. di bawah ini berisikan persen kenaikan presipitasi relatif CaCO_3 terhadap kenaikan konsentrasi larutan sampel pada 120 menit sirkulasi.

Tabel 4.19. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai konsentrasi larutan dengan $L_m=0,35\text{m}$; $B=0,52\text{T}$; $v=0,554 \text{ m/s}$; $V=240 \text{ mL}$ dan pH awal 8,5

konsentrasi Ca_i (M)	% Presipitasi percobaan		% Presipitasi simulasi		PKPR	
	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	Percobaan	Simulasi
0,002	74,20	41,94	78,34	43,25	79,7	81,14
0,004	84,16	71,30	85,70	70,66	18,1	21,30
0,005	88,38	76,78	88,76	76,01	12,4	16,78

Dari tabel 4.19. terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan, maka nilai PKPR menjadi turun, sedangkan persen presipitasi pada sampel naik seiring dengan naiknya konsentrasi larutan. Hal ini berarti terjadi penurunan efek medan magnet seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan. Dengan meningkatnya konsentrasi sampel, maka nilai supersaturasi larutan akan naik, oleh karena itu interaksi ion akan semakin tinggi. Ini menyebabkan menurunnya efek medan magnet dalam mendorong terjadinya interaksi ion dan partikel. Penurunan nilai

PKPR yang cukup besar berhubungan dengan besarnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ yang terjadi akibat kenaikan konsentrasi sampel.

4.5.5. Persen Kenaikan Presipitasi Relatif (PKPR) Variasi Volume Larutan Sampel

Tabel 4.20. di bawah ini berisikan persen kenaikan presipitasi relatif CaCO_3 terhadap kenaikan volume larutan sampel pada 120 menit sirkulasi.

Tabel 4.20. Persen kenaikan presipitasi relatif pada berbagai volume larutan dengan $C_a=4$ mol/m³; $B=0,52\text{T}$; $v=0,554$ m/s; $L_m=0,35\text{m}$ dan pH awal 8,5

Volume (mL)	% Presipitasi percobaan		% Presipitasi simulasi		PKPR	
	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	Magnetisasi	Nonmagnetisasi	Percobaan	Simulasi
120	96,13	81,43	94,55	73,74	18,05	28,21
240	84,16	71,30	85,76	70,65	18,03	21,39
500	50,56	42,79	58,85	49,65	18,15	18,54

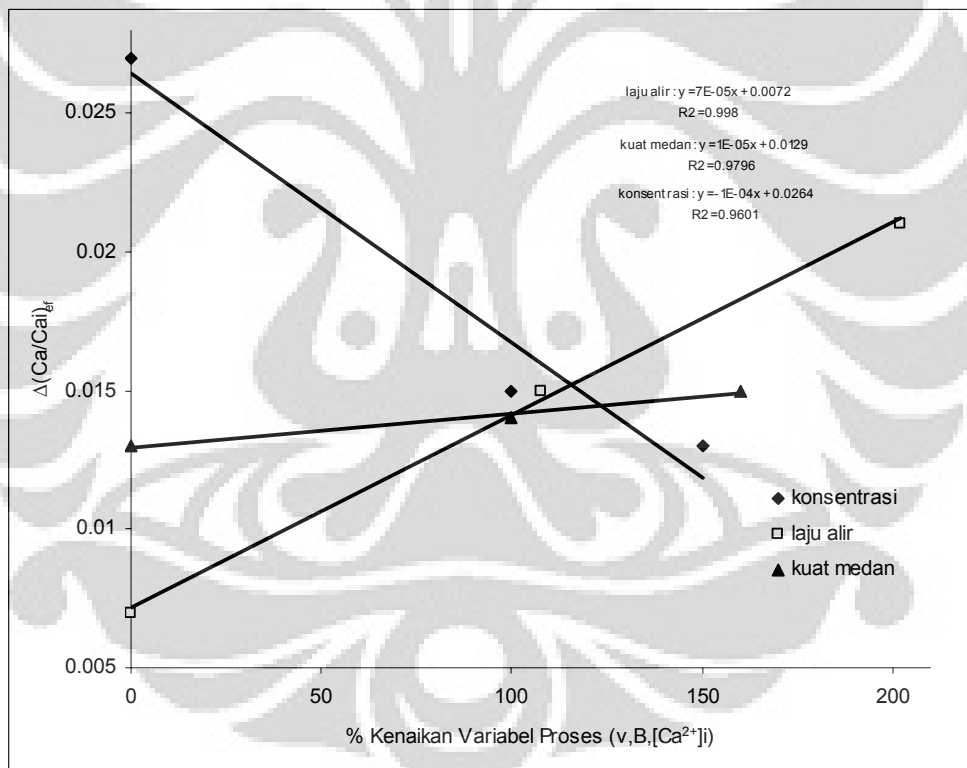
Volume sampel berpengaruh terhadap persen presipitasi larutan, karena volume sampel akan mempengaruhi waktu magnetisasi. Semakin besar volume sampel maka waktu magnetisasi menjadi semakin sedikit, karena hubungan volume sampel dengan waktu magnetisasi adalah berbanding terbalik. Kenaikan volume sampel tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai PKPR.

4.6. Pengaruh Variabel Proses Terhadap Efektifitas Magnetisasi Fluida Dinamik

Dari gambar 4.11 sampai dengan gambar 4.15 dapat diketahui variabel proses mana saja yang mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap efektifitas proses presipitasi CaCO_3 dalam larutan. Tabel 4.21 memperlihatkan tentang pengaruh persen kenaikan variabel proses terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$.

Tabel 4.21. Nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ pada berbagai persen kenaikan variabel proses

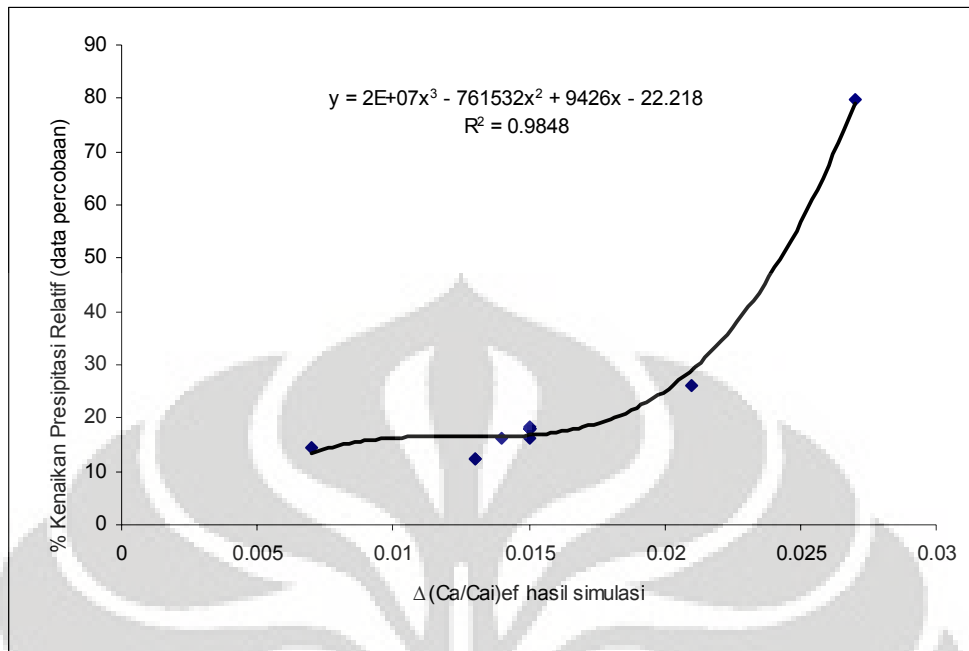
Variabel Proses	Persen kenaikan variabel proses	$\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$
Laju alir (m/s)		
0,262	0	0,007
0,554	111,4	0,015
0,792	202,3	0,021
Kuat Medan (T)		
0,2	0	0,013
0,4	100	0,014
0,52	160	0,015
konsentrasi Cai (M)		
0,002	0	0,027
0,004	100	0,015
0,005	150	0,013

Gambar 4.16. Kurva regresi linier $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ terhadap persen kenaikan laju alir (v), kuat medan (B), dan konsentrasi sampel (Cai).

Gambar 4.16 menunjukkan pengaruh perubahan variabel proses terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Variabel proses tersebut adalah laju alir, kuat medan magnet, dan konsentrasi larutan. Untuk variabel proses panjang magnet dan volume larutan

sampel tidak diplot dalam kurva karena variabel proses tersebut tidak mempengaruhi besarnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ yang dapat dicapai. Kurva diplot dengan persamaan garis linier karena dari gambar 4.16 di atas hanya ingin diketahui nilai slopenya yang mencerminkan besarnya pengaruh persen kenaikan variabel proses terhadap nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Konsentrasi larutan sampel mempunyai nilai slope absolut yang paling tinggi, artinya dengan merubah konsentrasi larutan sampel mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap proses presipitasi yang terjadi dalam larutan. Slope ini bernilai negatif, artinya perubahan konsentrasi larutan akan berbanding terbalik dengan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Kecepatan alir juga mempunyai slope absolut yang tinggi, sehingga juga mempunyai efek yang signifikan terhadap presipitasi $CaCO_3$ dalam larutan, namun nilainya berbanding lurus dengan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Sedangkan untuk kuat medan magnet mempunyai nilai slope absolut yang paling kecil. Jadi perubahan kuat medan magnet dapat mempengaruhi proses presipitasi yang terjadi dalam larutan, namun pengaruhnya sangat kecil. Hal ini juga dapat terlihat dari kecilnya kenaikan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ dan PKPR jika kuat medan magnet dinaikkan. Dari gambar 4.16. dapat disimpulkan bahwa untuk proses magnetisasi yang efektif dapat dilakukan pada kecepatan alir 0,792 m/s; kuat medan magnet 0,52 T; dan konsentrasi larutan 0,002 M. Sementara untuk panjang magnet dan volume larutan sampel hanya mempengaruhi waktu sirkulasi.

Pada awal magnetisasi, terjadi penurunan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})$ yang signifikan, hal ini menunjukkan bahwa presipitasi terbesar terjadi pada saat awal larutan disirkulasi.



Gambar 4.17. Kurva nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ hasil regresi terhadap persen kenaikan presipitasi relatif (PKPR).

Gambar 4.17 menunjukkan adanya hubungan kuantitatif yang kuat antara persen kenaikan presipitasi relatif yang berasal data percobaan dengan nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ yang merupakan hasil simulasi. Besarnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ merepresentasikan secara kualitatif jumlah inti yang terbentuk di larutan pada awal presipitasi dengan pengaruh medan magnet. Banyaknya inti yang terbentuk mempunyai pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan kristal dan proses presipitasi selanjutnya. Nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ yang tinggi menunjukkan jumlah inti yang terbentuk pada awal presipitasi besar sehingga presipitasi selanjutnya pada proses sirkulasi akan semakin besar pula. Oleh karena itu, nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ berhubungan dengan peningkatan presipitasi $CaCO_3$ setelah sirkulasi 120 menit. Hal ini ditunjukkan dengan kenaikan presipitasi $CaCO_3$ dengan bertambahnya harga $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$. Gambar 4.17 memperlihatkan persamaan persen kenaikan presipitasi relatif (sumbu y) sebagai fungsi dari $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ (sumbu x) hasil regresi dengan harga koefisien R^2 adalah 0,98. Dari gambar 4.17 menunjukkan bahwa peningkatan kenaikan presipitasi relatif pada harga $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ di atas 0,015 bersifat eksponensial.

BAB 5 KESIMPULAN

Pengembangan model persamaan fraksi ion Ca^{2+} dalam larutan $CaCO_3$ yang tidak berpresipitasi sebagai fungsi waktu presipitasi untuk sistem sirkulasi fluida dinamik adalah sebagai berikut :

$$\frac{[Ca^{2+}]}{[Ca^{2+}]_i} = \frac{K_2}{K_1 + K_2} + \frac{K_1}{(K_1 + K_2)[Ca^{2+}]_i} \exp(-(K_1 + K_2)t_m)$$

Dengan:

$$t_m = \frac{A L_m t_s}{V} ; K_1 = (K_0 B^M \cdot V^N); \text{ DAN LN } K_2 = A \text{ LN } T_s + B$$

Berdasarkan hasil simulasi dari pengembangan model presipitasi $CaCO_3$ dari larutan $CaCO_3$ pada sistem magnetisasi fluida dinamik dengan bantuan microsoft excel maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan alir, kuat medan magnet, panjang magnet, konsentrasi larutan dan volume larutan mempengaruhi nilai $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ yang merepresentasikan banyaknya ion Ca^{2+} dalam larutan $CaCO_3$ yang tidak berpresipitasi.
2. Koefisien a dan b merupakan fungsi dari kecepatan alir, kuat medan magnet, panjang magnet, konsentrasi larutan, dan volume larutan yang nilainya didapat melalui hasil regresi logaritmik dari data percobaan dengan nilai korelasi data R^2 berkisar antara 0,96 sampai dengan 0,99.
3. Hasil simulasi menunjukkan kecepatan alir, kuat medan magnet, dan konsentrasi larutan sampel mempengaruhi waktu efektif magnetisasi (t_{me}) dan penurunan ion Ca^{2+} ($\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$), sementara panjang magnet dan volume larutan sampel hanya mempengaruhi waktu sirkulasi efektif (t_{se}).
4. Kenaikan kecepatan alir dan penurunan konsentrasi larutan sampel mempunyai efek yang lebih signifikan dalam meningkatkan ($\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$) nilai dibanding dengan efek kenaikan kuat medan magnet.
5. Besarnya nilai $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ berhubungan erat dengan persen kenaikan presipitasi relatif, dalam hal ini peningkatan kenaikan presipitasi relatif pada harga $\Delta(C_a/C_{ai})_{ef}$ di atas 0,015 bersifat eksponensial.

DAFTAR ACUAN

1. Knez Sergej dan Pohar Ciri., "The magnetic field influence on the polymorph composition of CaCO_3 precipitated from carbonized aqueous solutions," *Journal of Colloid and Interface Science* (2005), hal. 377–388.
2. Coey J.M.D. dan S. Cass., "Magnetic water treatment," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (2000).
3. Ruth. E. Herzog, Qihong Shi, Jay N. Patil, Joseph L. Katz (1989). "Magnetic Water Treatment: The Effect of Iron on Calcium Carbonate Nucleation and Growth". *Langmuir*, 5, 861-867.
4. S. Kobe, G. Draz'ic', P.J. McGuinnessa, T. Medena (2003)."Control over nano crystalization in turbulent flow in the presence of magnetic fields". *Materials Science and Engineering*, C 23, 811– 815.
5. Nelson saksono, Elisabeth A. S., Setijo Bismo, Roekmijati W, dan Azwar Manaf. Efek Medan Magnet pada Penurunan Kesadahan dan Pencegahan Pembentukan Kerak CaCO_3 . *Jurnal Sains Materi Indonesia Edisi Khusus Oktober 2007*.
6. 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.
7. Fathi, A., tili M, Gabrielli, C., Maurin, G., Ben Amor, M, Effect of Magnetic water treatment on homogenous precipitation of calcium carbonate. *Water Res.* (2006) .40, 1941-1950.
8. Gabrielli, C., G. Maurin, G. Poindessous, R. Rosset (1999). "Nucleation and growth of calcium carbonate by an electrochemical scaling process". *Journal of Crystal Growth*, 200, 236-250.
9. Kobe S., Drazic G., Cefalas A.C., Sarantopoulou E. dan Strazisar J. "Nucleation and crystallization of CaCO_3 in applied magnetic fields," *Crystal Engineering* (2002), hal. 243-253.

10. Tao Chen, Anne Nevillea, Mingdong Yuan (2005). "Calcium carbonate scale formation-assessing the initialstages of precipitation and deposition". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 46, 185– 194.
11. 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 (2004) 79-84.
12. Parsons, S.A.; Wang, L., Judd, S.J.; Stephenson, T., Magnetic Water Treatment of Calcium Carbonatescale-Effect of pH Control; *Water Res.* 31 (1997) 339.
13. 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 (1997) 105.
14. Y.Wang, A. J. Babchin, L Tt. Cherny, R S. Chow, R P. Sawatzky (1997). "Rapid Onset Of Calcium Carbonate Crytalization Under The Influence Of A Magnetic Field". *Water Research*, 31, 346-350.
15. Marcus, Yizhak, "A simple empirical model describing the thermodynamics of hydration of ions of ewidely varying charges, sizes, and shapes", *Biophysical Chemistry*, (1994) 111-127.
16. K. Higashitani, A.Kage, S. Katamura, K. Imai, S. Hatade (1995). "Effects of Magnetic Field on the Formation CaCO₃ Particles". *JOURNAL OF COLLOID INTERFACE SCIENCE*, 156, 90-95.
17. Chibowski, E., Lucyna Holysz, Aleksandra Szczes, "Adhesion of in situ precipitated calcium carbonate in the presence and absence of magnetic field in quiscent condition on different solid surface" (2003). *Water Research*, 37, 4685-4692.
18. Kronenberg, K.J., Experimental Evidence For Effects of Magnetic Fields in Moving Water; *IEE Transactions on Magnetics*, Vol. MAG-21, No. 5, September 1985.
19. V. Kozic and L.C. Lipus (2003). "Magnetic water treatment for a less tenacious scale" *J. Chem. Inf. Comput. Sci*, 43, 1815-1819.

20. Gabrielli C., Jauhari R. dan Keddham M., "Magnetic Water Treatment For Scale Prevention," *Wat. Res* (2001), hal. 3249–3259.





A. Data Percobaan

A.1 Data Persen Presipitasi Pada Berbagai Variabel Proses

A. 1. 1 Data Persen Presipitasi Pada Variasi Kecepatan Alir

Waktu	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
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	2,40	5,00	6,20	2,80	6,00	8,40
5,00	6,40	15,20	20,70	7,31	17,94	26,12
10,00	13,50	29,60	37,40	15,43	34,94	47,20
20,00	22,10	40,43	56,56	25,26	45,32	61,20
40,00	40,20	59,05	68,61	45,94	64,68	75,97
60,00	52,00	64,20	72,57	59,43	75,78	87,83
120,00	60,00	71,30	75,30	68,57	84,16	95,02

A. 1. 2 Data Persen Presipitasi Pada Variasi Kuat Medan

waktu	NM	M 2 kG	M 4 kG	M 5,2 kG
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	5,00	5,70	5,90	6,00
5,00	15,20	17,07	17,65	17,94
10,00	29,60	33,24	34,36	34,94
20,00	40,43	45,39	46,93	45,32
40,00	59,05	66,30	68,55	64,68
60,00	64,20	72,08	74,53	75,78
120,00	71,30	80,06	82,77	84,16

A. 1. 3 Data Persen Presipitasi Pada Variasi Panjang Magnet

waktu	NM	M 0,05 m	M 0,15 m	M 0,25 m	M 0,35 m
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	5,00	5,30	5,90	6,00	6,00
5,00	15,20	16,06	17,69	17,69	17,94
10,00	29,60	31,28	34,46	34,73	34,94
20,00	40,43	40,60	44,73	45,17	45,32
40,00	59,05	57,90	63,79	64,55	64,68
60,00	64,20	67,83	74,73	75,68	75,78
120,00	71,30	75,34	83,00	84,08	84,16

A. 1. 4 Data Persen Presipitasi Pada Variasi Konsentrasi Larutan

waktu	NM 200 ppm Ca	NM 400 ppm Ca	NM 500 ppm Ca	M 200 ppm Ca	M 400 ppm Ca	M 500 ppm Ca
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	2,94	5,00	5,71	5,28	5,99	6,42
5,00	8,94	15,20	17,10	15,82	17,94	19,14
10,00	17,41	29,60	32,89	30,80	34,94	37,13
20,00	23,78	40,43	44,47	39,96	45,32	48,00
40,00	34,74	59,05	64,42	57,03	64,68	68,29
60,00	37,76	64,20	69,55	66,81	75,78	79,78
120,00	41,94	71,30	76,78	74,20	84,16	88,38

A. 1. 5 Data Persen Presipitasi Pada Variasi Volume Sampel

waktu	NM 120 ml	NM 240 ml	NM 500 ml	M 120 ml	M 240 ml	M 500 ml
0	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
2	9,8	5,0	3,0	11,8	6,0	3,6
5	22,6	15,2	9,1	26,8	17,9	10,8
10	39,3	29,6	17,8	46,5	34,9	21,0
20	55,0	40,4	24,3	56,6	45,3	27,2
40	67,9	59,1	35,4	77,5	64,7	38,9
60	74,8	64,2	38,5	88,3	75,8	45,5
120	81,4	71,3	42,8	96,1	84,2	50,6

A.2 Data $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Berbagai Variabel Proses

A.2.1 Data $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Variasi Kecepatan Alir

waktu	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
0	1	1	1	1	1	1
2	0,976	0,95	0,938	0,972	0,94	0,916
5	0,936	0,848	0,793	0,92685714	0,82059016	0,73878571
10	0,865	0,704	0,626	0,84571429	0,65062295	0,52804762
20	0,779	0,595749776	0,434374055	0,74742857	0,5467541	0,38797619
40	0,598	0,409490893	0,31389852	0,54057143	0,35318033	0,24033333
60	0,48	0,358	0,274330109	0,40571429	0,24222951	0,12171429
120	0,4	0,287	0,247	0,31428571	0,15842623	0,04978571

A.2.2 Data $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Variasi Kuat Medan

waktu	NM	2000 G	4000 G	5200 G
0	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,950	0,943	0,941	0,940
5	0,848	0,829	0,824	0,821
10	0,704	0,668	0,656	0,651
20	0,596	0,546	0,531	0,547
40	0,409	0,337	0,314	0,353
60	0,358	0,279	0,255	0,242
120	0,287	0,199	0,172	0,158

A.2.3 Data $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Variasi Panjang Magnet

waktu	NM	0,05 m	0,15 m	0,25 m	0,35 m
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,950	0,947	0,941	0,940	0,940
5	0,848	0,839	0,823	0,823	0,821
10	0,704	0,687	0,655	0,653	0,651
20	0,596	0,594	0,553	0,548	0,547
40	0,409	0,421	0,362	0,354	0,353
60	0,358	0,322	0,253	0,243	0,242
120	0,287	0,247	0,170	0,159	0,158

A.2.4 Data $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Variasi Konsentrasi Larutan

waktu	NM 200 ppm Ca	NM 400 ppm Ca	NM 500 ppm Ca	M 20 ppm Ca	M 400 ppm Ca	M 500 ppm Ca
0	1	1	1	1	1	1
2	0,97059751	0,950015635	0,94287492	0,947169112	0,940078267	0,935773552
5	0,91058847	0,848	0,828999788	0,841820648	0,820590164	0,808565394
10	0,82588281	0,704	0,671110785	0,691966525	0,650622951	0,628677187
20	0,762206376	0,595749776	0,555324393	0,600389006	0,546754098	0,519966551
40	0,652642614	0,409490893	0,355807811	0,42972181	0,353180328	0,317085525
60	0,622353934	0,358	0,304499602	0,331900369	0,242229508	0,202178261
120	0,580589337	0,287	0,232153469	0,258013961	0,15842623	0,116178598

A.2.1 Data $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Variasi Volume Sampel

waktu	NM 120 ml	NM 240 ml	NM 500 ml	M 120 ml	M 240 ml	M 500 ml
0	1	1	1	1	1	1
2	0,902	0,950015635	0,97	0,882	0,940078267	0,964
5	0,77352677	0,848	0,908771473	0,73228667	0,820590164	0,892213497
10	0,606663657	0,704	0,822344447	0,535383212	0,650622951	0,790099967

20	0,45	0,595749776	0,757373997	0.434334701	0.546754098	0.727697255
40	0,321	0,409490893	0,64558371	0.224632443	0.353180328	0.61140129
60	0,251726237	0,358	0,614679511	0,116599034	0,242229508	0,544743847
120	0,185736002	0,287	0,572066186	0,038744096	0,15842623	0,494396204

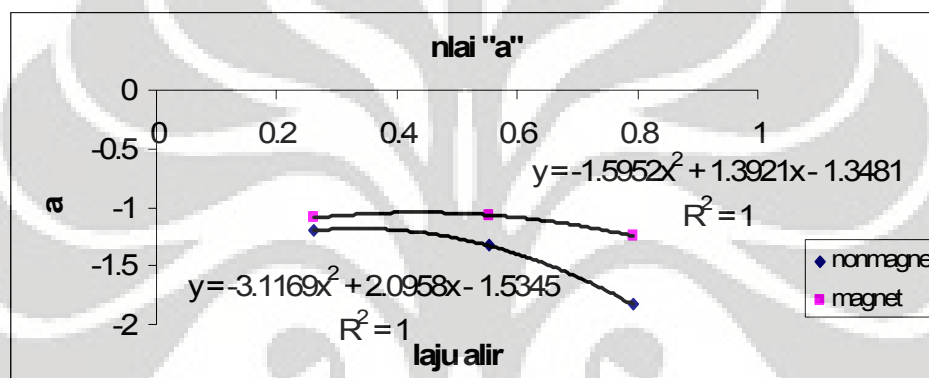


B. Hasil Regresi t_s Terhadap $\ln K_2$ Pada Berbagai Variabel Proses Dan Hasil Simulasinya

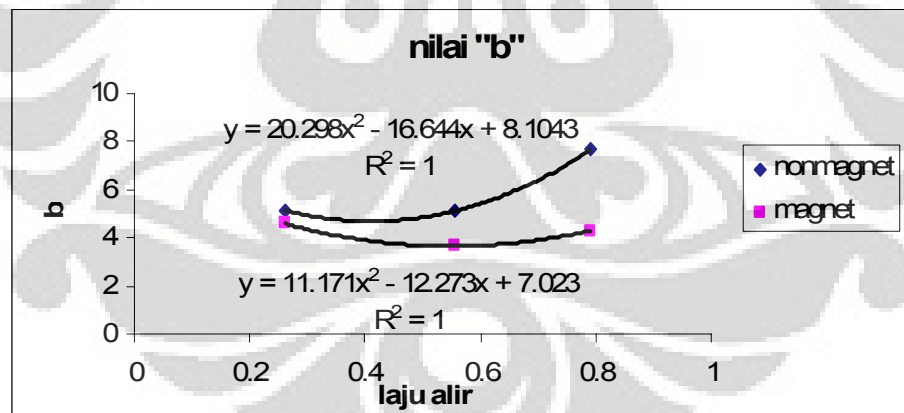
B.1 Hasil Regresi t_s Terhadap $\ln K_2$ Pada Variasi Kecepatan Alir Dan Hasil Simulasinya

B.1.1 Hasil Regresi t_s Terhadap $\ln K_2$ Pada Variasi Kecepatan Alir

kecepatan m/s	Nonmagnet			Magnet		
	a	b	R^2	a	b	R^2
0,262	-1,1994	5,137	0,9958	-1,0929	4,5742	0,9945
0,554	-1,3301	5,1134	0,995	-1,0665	3,652	0,9915
0,792	-1,8298	7,6545	0,9809	-1,2462	4,3094	0,9911



Gambar B.1 Hasil regresi nilai a pada berbagai kecepatan alir



Gambar B.2 Hasil regresi nilai b pada berbagai kecepatan alir

B1.2 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kecepatan Alir 0,262 m/s Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,976	0,977	0,111	0,017	0,546	-1,199	5,137	0	120
0,936	0,935	0,087	0,017	0,182	-1,199	5,137	0	300
0,865	0,866	0,134	0,017	0,079	-1,199	5,137	0	600
0,779	0,750	3,672	0,017	0,035	-1,199	5,137	0	1200
0,598	0,600	0,263	0,017	0,015	-1,199	5,137	0	2400
0,480	0,512	6,661	0,017	0,009	-1,199	5,137	0	3600
0,400	0,392	1,974	0,017	0,004	-1,199	5,137	0	7200
% perbedaan rata-rata		1,843						

B1.3 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kecepatan Alir 0,554 m/s Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,950	0,951	0,093	0,020	0,285	-1,330	5,113	0	120
0,848	0,856	0,974	0,020	0,084	-1,330	5,113	0	300
0,704	0,720	2,259	0,020	0,034	-1,330	5,113	0	600
0,596	0,550	7,651	0,020	0,013	-1,330	5,113	0	1200
0,409	0,407	0,532	0,020	0,005	-1,330	5,113	0	2400
0,358	0,351	2,087	0,020	0,003	-1,330	5,113	0	3600
0,287	0,293	2,264	0,020	0,001	-1,330	5,113	0	7200
% perbedaan rata-rata		2,266						

B1.4 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kecepatan Alir 0,792 m/s Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,938	0,954	1,739	0,021	0,331	-1,830	7,654	0	120
0,793	0,807	1,747	0,021	0,062	-1,830	7,654	0	300
0,626	0,586	6,409	0,021	0,017	-1,830	7,654	0	600
0,434	0,389	10,370	0,021	0,005	-1,830	7,654	0	1200
0,314	0,295	5,946	0,021	0,001	-1,830	7,654	0	2400
0,274	0,272	0,760	0,021	0,001	-1,830	7,654	0	3600
0,247	0,256	3,803	0,021	0,000	-1,830	7,654	0	7200
% perbedaan rata-rata		4,396						

B1.5 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kecepatan Alir 0,262 m/s Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,972	0,972	0,032	0,015	0,518	-1,093	4,574	4,946	120
0,927	0,927	0,016	0,015	0,190	-1,093	4,574	12,364	300

0,846	0,856	1,187	0,015	0,089	-1,093	4,574	24,728	600
0,747	0,735	1,641	0,015	0,042	-1,093	4,574	49,455	1200
0,541	0,564	4,324	0,015	0,020	-1,093	4,574	98,910	2400
0,406	0,452	11,493	0,015	0,013	-1,093	4,574	148,365	3600
0,314	0,278	11,638	0,015	0,006	-1,093	4,574	296,730	7200
% perbedaan rata-rata		4,333						

B1.6 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kecepatan Alir 0,554 m/s Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,940	0,934	0,624	0,018	0,234	-1,066	3,652	4,946	120
0,821	0,843	2,689	0,018	0,088	-1,066	3,652	12,364	300
0,651	0,719	10,456	0,018	0,042	-1,066	3,652	24,728	600
0,547	0,547	0,054	0,018	0,020	-1,066	3,652	49,455	1200
0,353	0,360	1,892	0,018	0,010	-1,066	3,652	98,910	2400
0,242	0,263	8,731	0,018	0,006	-1,066	3,652	148,365	3600
0,158	0,143	9,777	0,018	0,003	-1,066	3,652	296,730	7200
% perbedaan rata-rata		4,889						

B1.7 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kecepatan Alir 0,792 m/s Magnetisasi

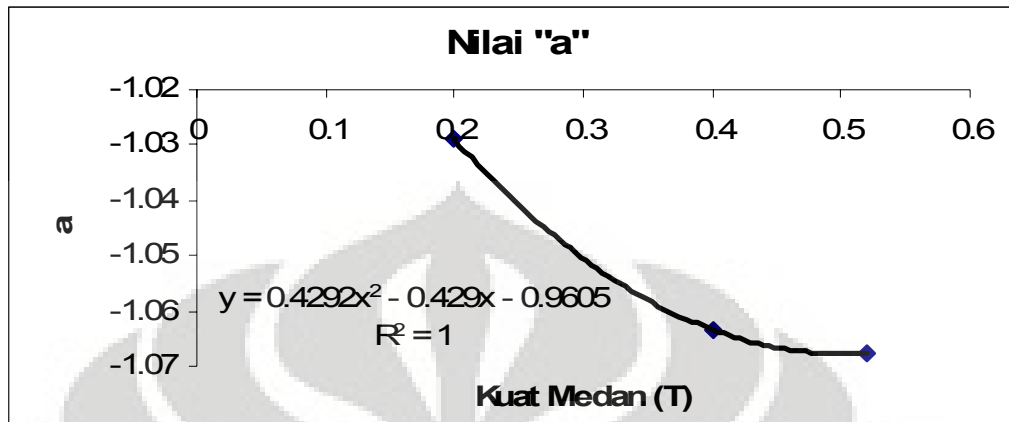
Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,916	0,917	0,083	0,019	0,191	-1,246	4,310	4,946	120
0,739	0,783	5,956	0,019	0,061	-1,246	4,310	12,364	300
0,528	0,608	15,087	0,019	0,026	-1,246	4,310	24,728	600
0,286	0,397	38,711	0,019	0,011	-1,246	4,310	49,455	1200
0,134	0,212	57,600	0,019	0,005	-1,246	4,310	98,910	2400
0,084	0,134	58,991	0,019	0,003	-1,246	4,310	148,365	3600
0,050	0,058	15,770	0,019	0,001	-1,246	4,310	296,730	7200
% perbedaan rata-rata		27,457						

B.2 Hasil Regresi t_s Terhadap $\ln K_2$ Pada Variasi Kuat Medan Dan Hasil Simulasinya

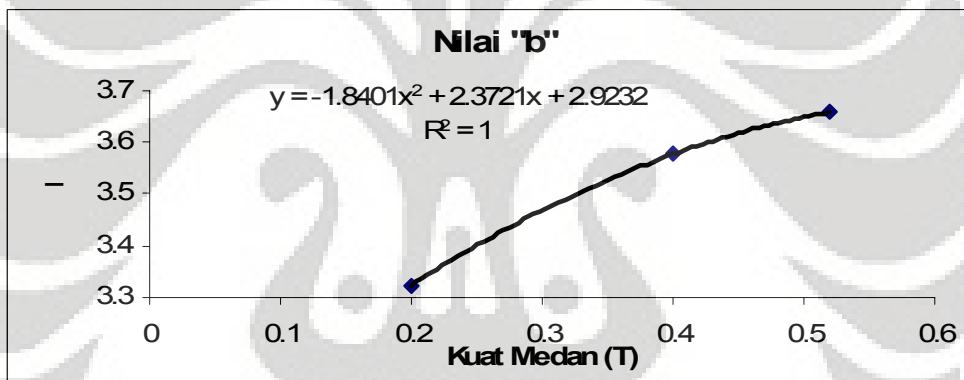
B.2.1 Hasil Regresi t_s Terhadap $\ln K_2$ Pada Variasi Kuat Medan

kuat medan	a	b	R^2
0,2 T	-1,0291	3,324	0,9854
0,4 T	-1,0634	3,5776	0,9887

0,52 T	-1,0675	3,6591	0,9916
--------	---------	--------	--------



Gambar B.3 Hasil regresi nilai a pada berbagai kuat medan



Gambar B.4 Hasil regresi nilai b pada berbagai kuat medan

B.2.2 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kuat Medan Magnet 0,2 T.

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,943	0,935	0,835	0,015	0,201	-1,029	3,324	4,946	120
0,829	0,849	2,403	0,015	0,078	-1,029	3,324	12,364	300
0,668	0,733	9,746	0,015	0,038	-1,029	3,324	24,728	600
0,546	0,571	4,612	0,015	0,019	-1,029	3,324	49,455	1200
0,337	0,389	15,349	0,015	0,009	-1,029	3,324	98,910	2400
0,279	0,291	4,212	0,015	0,006	-1,029	3,324	148,365	3600
0,199	0,163	18,001	0,015	0,003	-1,029	3,324	296,730	7200

% perbedaan rata-rata	7,880
-----------------------	-------

B.2.3 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kuat Medan Magnet 0,4 T.

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,941	0,934	0,748	0,017	0,220	-1,063	3,578	4,946	120
0,824	0,843	2,267	0,017	0,083	-1,063	3,578	12,364	300
0,656	0,719	9,634	0,017	0,040	-1,063	3,578	24,728	600
0,531	0,548	3,268	0,017	0,019	-1,063	3,578	49,455	1200
0,314	0,361	15,103	0,017	0,009	-1,063	3,578	98,910	2400
0,255	0,265	3,773	0,017	0,006	-1,063	3,578	148,365	3600
0,172	0,144	16,567	0,017	0,003	-1,063	3,578	296,730	7200
% perbedaan rata-rata		7,337						

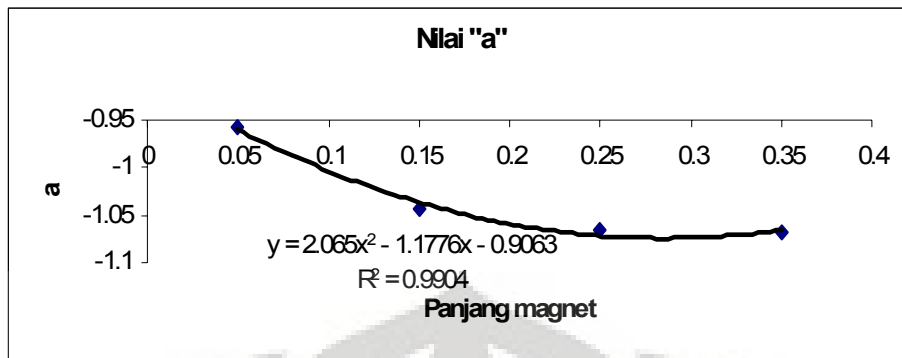
B.2.4 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Kuat Medan Magnet 0,52 T.

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,940	0,934	0,614	0,018	0,234	-1,068	3,659	4,946	120
0,821	0,843	2,649	0,018	0,088	-1,068	3,659	12,364	300
0,651	0,719	10,394	0,018	0,042	-1,068	3,659	24,728	600
0,547	0,547	0,018	0,018	0,020	-1,068	3,659	49,455	1200
0,353	0,360	1,859	0,018	0,010	-1,068	3,659	98,910	2400
0,242	0,263	8,694	0,018	0,006	-1,068	3,659	148,365	3600
0,158	0,143	9,731	0,018	0,003	-1,068	3,659	296,730	7200
% perbedaan rata-rata		4,846						

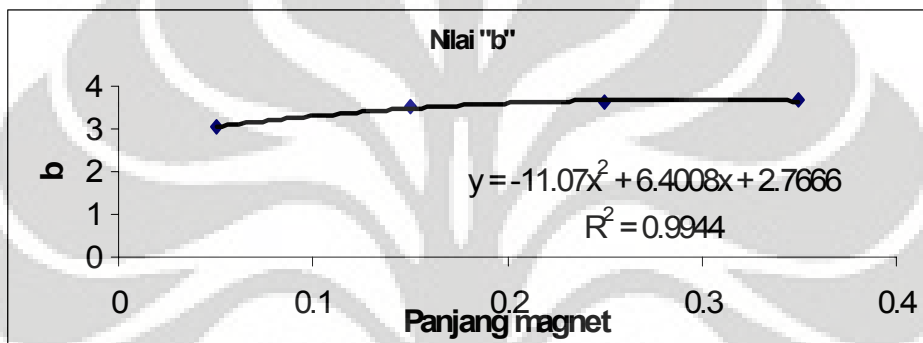
B.3 Hasil Regresi t_s Terhadap $\ln K_2$ Pada Variasi Panjang Medan Dan Hasil Simulasinya

B.3.1 Hasil Regresi t_s Terhadap $\ln K_2$ Pada Variasi Panjang Magnet.

panjang magnet	a	b	R^2
0,05 m	-0,9581	3,0507	0,9825
0,15 m	-1,0424	3,5025	0,9889
0,25 m	-1,0658	3,6501	0,9917
0,35 m	-1,0675	3,6591	0,9916



Gambar B.5 Hasil regresi nilai a pada berbagai panjang magnet



Gambar B.6 Hasil regresi nilai b pada berbagai panjang magnet

B.3.2 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]_i/[Ca^{2+}]_o$ Pada Panjang Magnet 0,05 m.

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,947	0,955	0,852	0,018	0,344	-0,862	3,059	2,826	120
0,839	0,905	7,796	0,018	0,156	-0,862	3,059	7,065	300
0,687	0,838	21,904	0,018	0,086	-0,862	3,059	14,130	600
0,573	0,737	28,581	0,018	0,047	-0,862	3,059	28,260	1200
0,376	0,601	59,899	0,018	0,026	-0,862	3,059	56,520	2400
0,322	0,512	59,251	0,018	0,018	-0,862	3,059	84,780	3600
0,247	0,362	46,898	0,018	0,010	-0,862	3,059	169,560	7200
% perbedaan rata-rata		32,169						

B.3.3 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]_i/[Ca^{2+}]_o$ Pada Panjang Magnet 0,15 m.

Ca/Cai		% perbedaan	K ₁	K ₂	a	b	t _m	t _s
data	perhitungan							
0,941	0,978	3,948	0,018	0,799	-0,773	3,478	8,478	120
0,823	0,957	16,223	0,018	0,394	-0,773	3,478	21,195	300
0,655	0,928	41,588	0,018	0,230	-0,773	3,478	42,390	600
0,529	0,883	66,777	0,018	0,135	-0,773	3,478	84,780	1200
0,313	0,815	160,803	0,018	0,079	-0,773	3,478	169,560	2400
0,253	0,763	202,123	0,018	0,058	-0,773	3,478	254,340	3600
0,170	0,654	284,479	0,018	0,034	-0,773	3,478	508,680	7200
% perbedaan rata-rata		110,849						

B.3.4 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Panjang Magnet 0,25 m.

Ca/Cai		% perbedaan	K ₁	K ₂	a	b	t _m	t _s
data	perhitungan							
0,940	0,988	5,122	0,018	1,489	-0,684	3,675	14,130	120
0,823	0,978	18,821	0,018	0,795	-0,684	3,675	35,325	300
0,653	0,965	47,873	0,018	0,495	-0,684	3,675	70,650	600
0,525	0,945	80,175	0,018	0,308	-0,684	3,675	141,300	1200
0,304	0,915	200,742	0,018	0,192	-0,684	3,675	282,600	2400
0,243	0,890	266,106	0,018	0,145	-0,684	3,675	423,900	3600
0,159	0,835	424,461	0,018	0,090	-0,684	3,675	847,800	7200
% perbedaan rata-rata		149,043						

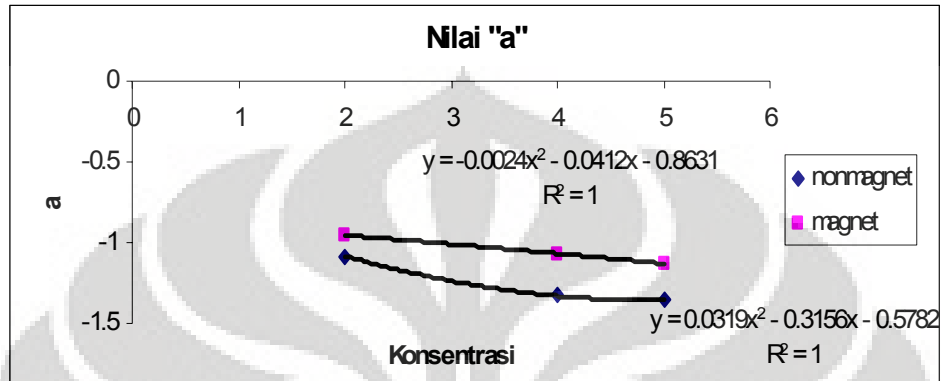
B.3.4 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Panjang Magnet 0,35 m.

Ca/Cai		% perbedaan	K ₁	K ₂	a	b	t _m	t _s
data	perhitungan							
0,940	0,992	5,535	0,018	2,223	-0,596	3,651	19,782	120
0,821	0,986	20,197	0,018	1,288	-0,596	3,651	49,455	300
0,651	0,979	50,544	0,018	0,852	-0,596	3,651	98,910	600
0,547	0,969	77,283	0,018	0,564	-0,596	3,651	197,820	1200
0,353	0,954	170,209	0,018	0,373	-0,596	3,651	395,640	2400
0,242	0,943	289,119	0,018	0,293	-0,596	3,651	593,460	3600
0,158	0,916	477,981	0,018	0,194	-0,596	3,651	1186,920	7200
% perbedaan rata-rata		155,838						

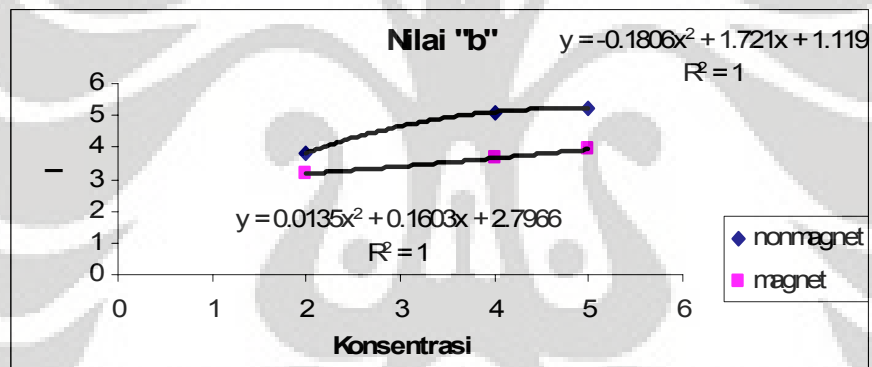
B.4 Hasil Regresi t_s Terhadap ln K₂ Pada Variasi Konsentrasi Sampel Dan Hasil Simulasinya

B.4.1 Hasil Regresi t_s Terhadap ln K₂ Pada Variasi Konsentrasi Sampel.

konsentrasi	Nonmagnet			Magnet		
	a	b	R ²	a	b	R ²
200 ppm	-1,0818	3,8387	0,9897	-0,9552	3,1712	0,9816
400ppm	-1,3301	5,1139	0,995	-1,0668	3,6539	0,9915
500 ppm	-1,3585	5,2098	0,9931	-1,1299	3,9358	0,994



Gambar B.7 Hasil regresi nilai a pada berbagai konsentrasi sampel



Gambar B.8 Hasil regresi nilai b pada berbagai konsentrasi sampel

B.4.2 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Konsentrasi Cai 200 ppm Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K ₁	K ₂	a	b	t _m	t _s
data	perhitungan							
0,971	0,965	0,627	0,020	0,262	-1,082	3,839	0	120
0,911	0,915	0,446	0,020	0,097	-1,082	3,839	0	300
0,826	0,848	2,709	0,020	0,046	-1,082	3,839	0	600
0,762	0,760	0,275	0,020	0,022	-1,082	3,839	0	1200
0,653	0,669	2,563	0,020	0,010	-1,082	3,839	0	2400
0,622	0,624	0,291	0,020	0,007	-1,082	3,839	0	3600
0,581	0,568	2,254	0,020	0,003	-1,082	3,839	0	7200
% perbedaan rata-rata		1,309						

B.4.3 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Konsentrasi Cai 400 ppm Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,950	0,951	0,088	0,020	0,285	-1,330	5,113	0	120
0,848	0,856	0,964	0,020	0,084	-1,330	5,113	0	300
0,704	0,720	2,238	0,020	0,034	-1,330	5,113	0	600
0,596	0,550	7,679	0,020	0,013	-1,330	5,113	0	1200
0,409	0,407	0,564	0,020	0,005	-1,330	5,113	0	2400
0,358	0,350	2,114	0,020	0,003	-1,330	5,113	0	3600
0,287	0,293	2,246	0,020	0,001	-1,330	5,113	0	7200
% perbedaan rata-rata		2,271						

B.4.4 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Konsentrasi Cai 500 ppm Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,943	0,946	0,282	0,020	0,274	-1,359	5,209	0	120
0,829	0,838	1,099	0,020	0,079	-1,359	5,209	0	300
0,671	0,685	2,020	0,020	0,031	-1,359	5,209	0	600
0,555	0,500	10,000	0,020	0,012	-1,359	5,209	0	1200
0,356	0,352	1,198	0,020	0,005	-1,359	5,209	0	2400
0,305	0,295	3,128	0,020	0,003	-1,359	5,209	0	3600
0,232	0,240	3,348	0,020	0,001	-1,359	5,209	0	7200
% perbedaan rata-rata		3,011						

B.4.5 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Konsentrasi Cai 200 ppm Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,947	0,933	1,539	0,018	0,246	-0,955	3,171	19,782	120
0,842	0,852	1,215	0,018	0,103	-0,955	3,171	49,455	300
0,692	0,748	8,095	0,018	0,053	-0,955	3,171	98,910	600
0,600	0,605	0,732	0,018	0,027	-0,955	3,171	197,820	1200
0,430	0,441	2,652	0,018	0,014	-0,955	3,171	395,640	2400
0,332	0,349	5,124	0,018	0,010	-0,955	3,171	593,460	3600
0,258	0,217	16,065	0,018	0,005	-0,955	3,171	1186,920	7200
% perbedaan rata-rata		5,060						

B.4.6 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Konsentrasi Cai 400 ppm Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K ₁	K ₂	a	b	t _m	t _s
data	perhitungan							
0,940	0,929	1,144	0,018	0,234	-1,066	3,654	19,782	120
0,821	0,832	1,378	0,018	0,088	-1,066	3,654	49,455	300
0,651	0,703	7,982	0,018	0,042	-1,066	3,654	98,910	600
0,547	0,530	3,081	0,018	0,020	-1,066	3,654	197,820	1200
0,353	0,350	0,930	0,018	0,010	-1,066	3,654	395,640	2400
0,242	0,259	6,871	0,018	0,006	-1,066	3,654	593,460	3600
0,158	0,143	9,758	0,018	0,003	-1,066	3,654	1186,920	7200
% perbedaan rata-rata		4,449						

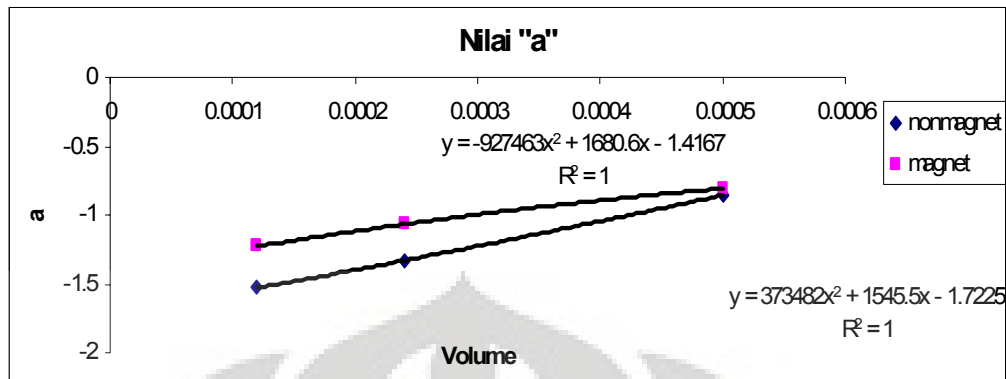
B.4.5 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Konsentrasi Cai 500 ppm Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K ₁	K ₂	a	b	t _m	t _s
data	perhitungan							
0,936	0,928	0,824	0,018	0,230	-1,129	3,936	19,782	120
0,809	0,821	1,535	0,018	0,082	-1,129	3,936	49,455	300
0,629	0,677	7,681	0,018	0,037	-1,129	3,936	98,910	600
0,520	0,489	5,933	0,018	0,017	-1,129	3,936	197,820	1200
0,317	0,304	4,004	0,018	0,008	-1,129	3,936	395,640	2400
0,202	0,217	7,244	0,018	0,005	-1,129	3,936	593,460	3600
0,116	0,112	3,286	0,018	0,002	-1,129	3,936	1186,920	7200
% perbedaan rata-rata		4,358						

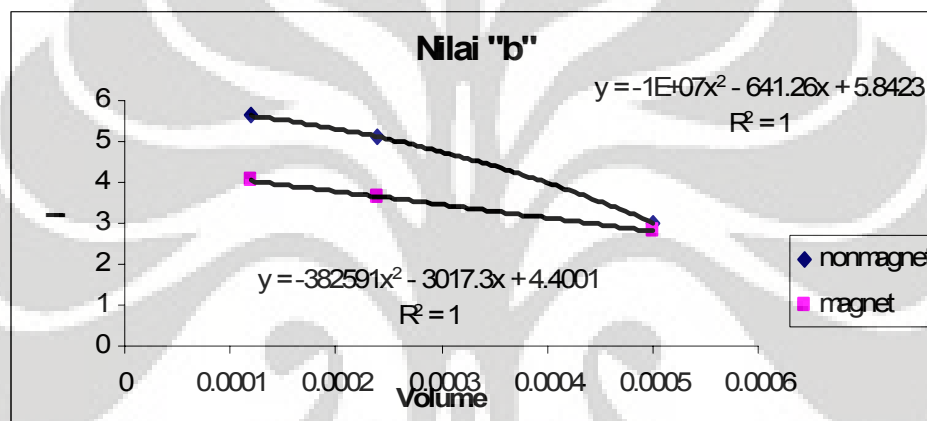
B.5 Hasil Regresi t_s Terhadap ln K₂ Pada Variasi Volume Sampel Dan Hasil Simulasinya

B.5.1 Hasil Regresi t_s Terhadap ln K₂ Pada Variasi Volume Sampel.

volume	Nonmagnet			Magnet		
	a	b	R ²	a	b	R ²
0,00012 m ³	-1,5317	5,6217	0,9878	-1,2284	4,0325	0,9802
0,00024 m ³	-1,3301	5,1139	0,995	-1,0668	3,6539	0,9915
0,0005 m ³	-0,8564	3,0283	0,9634	-0,8083	2,7958	0,9638



Gambar B.9 Hasil regresi nilai a pada berbagai volume sampel



Gambar B.10 Hasil regresi nilai b pada berbagai volume sampel

B.5.2 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]_o/[Ca^{2+}]_i$ Pada Volume Sampel 120 mL Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,902	0,925	2,577	0,020	0,181	-1,532	5,621	0,000	120
0,774	0,767	0,835	0,020	0,044	-1,532	5,621	0,000	300
0,607	0,576	5,097	0,020	0,015	-1,532	5,621	0,000	600
0,450	0,407	9,471	0,020	0,005	-1,532	5,621	0,000	120
0,321	0,313	2,463	0,020	0,002	-1,532	5,621	0,000	2400
0,252	0,285	13,329	0,020	0,001	-1,532	5,621	0,000	3600
0,186	0,263	41,378	0,020	0,000	-1,532	5,621	0,000	7200
% perbedaan rata-rata		10,736						

B.5.3 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]_o/[Ca^{2+}]_i$ Pada Volume Sampel 240 mL Non-magnetisasi

Ca/Cai	% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
--------	-------------	-------	-------	---	---	-------	-------

data	perhitungan							
0,950	0,951	0,086	0,020	0,285	-1,330	5,112	0	120
0,848	0,856	0,961	0,020	0,084	-1,330	5,112	0	300
0,704	0,720	2,234	0,020	0,034	-1,330	5,112	0	600
0,596	0,550	7,681	0,020	0,013	-1,330	5,112	0	1200
0,409	0,407	0,563	0,020	0,005	-1,330	5,112	0	2400
0,358	0,350	2,112	0,020	0,003	-1,330	5,112	0	3600
0,287	0,293	2,249	0,020	0,001	-1,330	5,112	0	7200
% perbedaan rata-rata		2,270						

B.5.4 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]_o/[Ca^{2+}]_i$ Pada Volume Sampel 500 mL Non-magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,970	0,958	1,199	0,020	0,340	-0,856	3,022	0	120
0,909	0,914	0,621	0,020	0,155	-0,856	3,022	0	300
0,822	0,858	4,357	0,020	0,086	-0,856	3,022	0	600
0,757	0,777	2,637	0,020	0,047	-0,856	3,022	0	1200
0,646	0,675	4,567	0,020	0,026	-0,856	3,022	0	2400
0,615	0,610	0,717	0,020	0,018	-0,856	3,022	0	3600
0,572	0,504	11,985	0,020	0,010	-0,856	3,022	0	7200
% perbedaan rata-rata		3,726						

B.5.5 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]_o/[Ca^{2+}]_i$ Pada Volume Sampel 120 mL Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,882	0,898	1,833	0,018	0,157	-1,228	4,033	39,564	120
0,732	0,741	1,201	0,018	0,051	-1,228	4,033	98,910	300
0,535	0,550	2,697	0,018	0,022	-1,228	4,033	197,820	600
0,434	0,343	21,117	0,018	0,009	-1,228	4,033	395,640	1200
0,225	0,182	18,996	0,018	0,004	-1,228	4,033	791,280	2400
0,117	0,119	2,127	0,018	0,002	-1,228	4,033	1186,920	3600
0,039	0,055	40,784	0,018	0,001	-1,228	4,033	2373,840	7200
% perbedaan rata-rata		12,679						

B.5.6 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]_o/[Ca^{2+}]_i$ Pada Volume Sampel 240 mL Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K_1	K_2	a	b	t_m	t_s
data	perhitungan							
0,940	0,929	1,162	0,018	0,234	-1,067	3,654	19,782	120
0,821	0,831	1,324	0,018	0,088	-1,067	3,654	49,455	300
0,651	0,702	7,867	0,018	0,042	-1,067	3,654	98,910	600
0,547	0,529	3,263	0,018	0,020	-1,067	3,654	197,820	1200
0,353	0,349	1,213	0,018	0,010	-1,067	3,654	395,640	2400
0,242	0,258	6,506	0,018	0,006	-1,067	3,654	593,460	3600
0,158	0,142	10,145	0,018	0,003	-1,067	3,654	1186,920	7200
% perbedaan rata-rata		4,497						

B.5.7 Hasil Simulasi $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i$ Pada Volume Sampel 500 mL Magnetisasi

Ca/Cai		% perbedaan	K ₁	K ₂	a	b	t _m	t _s
data	perhitungan							
0,964	0,951	1,376	0,018	0,342	-0,808	2,796	9,495	120
0,892	0,902	1,047	0,018	0,163	-0,808	2,796	23,738	300
0,790	0,839	6,211	0,018	0,093	-0,808	2,796	47,477	600
0,728	0,749	2,860	0,018	0,053	-0,808	2,796	94,954	1200
0,611	0,630	2,961	0,018	0,030	-0,808	2,796	189,907	2400
0,545	0,550	1,040	0,018	0,022	-0,808	2,796	284,861	3600
0,494	0,411	16,775	0,018	0,012	-0,808	2,796	569,722	7200
% perbedaan rata-rata		4,610						

C. Waktu Efektif Magnetisasi

C. 1 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kecepatan Alir.

Asumsi harga K_2 konstan pada $t_s = 120$ menit untuk menghilangkan efek sirkulasi.

$B = 0,52$ T; $V = 240$ mL; $[Ca^{2+}]_i = 0,004$ M; dan $L_m = 0,35$ m

C. 1. 1 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kecepatan Alir 0,262 m/s

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00012	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00012	0.000113	4	0.0
4.76	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00012	0.000113	4	0.7
4.98	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00012	0.000113	4	1.3
5.16	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00012	0.000113	4	2.0
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00012	0.000113	4	2.6
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00012	0.000113	4	3.3
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00012	0.000113	4	4.0
5.62	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00012	0.000113	4	4.6
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00012	0.000113	4	5.3
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00012	0.000113	4	5.9
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00012	0.000113	4	6.6
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00012	0.000113	4	7.3
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00012	0.000113	4	7.9
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00012	0.000113	4	8.6
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00012	0.000113	4	9.2
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00012	0.000113	4	9.9
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00012	0.000113	4	10.5
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00012	0.000113	4	11.2
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00012	0.000113	4	11.9
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00012	0.000113	4	12.5
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00012	0.000113	4	13.2
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00012	0.000113	4	16.5
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00012	0.000113	4	19.8
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00012	0.000113	4	23.1
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	80	0.00012	0.000113	4	26.4
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	90	0.00012	0.000113	4	29.7
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	100	0.00012	0.000113	4	33.0
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	130	0.00012	0.000113	4	42.8
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	160	0.00012	0.000113	4	52.7
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	190	0.00012	0.000113	4	62.6

C. 1. 2 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kecepatan Alir 0,554 m/s

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.64	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
4.76	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7
4.88	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
4.98	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
5.08	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6

5.16	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
5.24	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
5.38	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
5.49	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
5.58	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
5.62	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
5.65	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
5.71	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
5.76	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	4	10.5
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	4	10.9
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	68	0.00024	0.000113	4	11.2
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00024	0.000113	4	11.5
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	72	0.00024	0.000113	4	11.9
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	4	12.2
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	79	0.00024	0.000113	4	13.0
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	84	0.00024	0.000113	4	13.8
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	89	0.00024	0.000113	4	14.7
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	94	0.00024	0.000113	4	15.5
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	99	0.00024	0.000113	4	16.3
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	104	0.00024	0.000113	4	17.1
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	109	0.00024	0.000113	4	18.0
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	114	0.00024	0.000113	4	18.8
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	119	0.00024	0.000113	4	19.6
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	124	0.00024	0.000113	4	20.4

C. 1. 3 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kecepatan Alir 0,792 m/s

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
6.32	0.937	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
6.47	0.935	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
6.61	0.934	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7

6.74	0.933	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
6.86	0.931	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
6.98	0.930	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6
7.08	0.929	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
7.18	0.928	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
7.27	0.927	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
7.35	0.926	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
7.43	0.926	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
7.50	0.925	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
7.57	0.924	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
7.63	0.924	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
7.69	0.923	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
7.74	0.923	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
7.79	0.922	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
7.83	0.922	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
7.88	0.921	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
7.92	0.921	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
7.95	0.920	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
7.99	0.920	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
8.02	0.920	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
8.05	0.920	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
8.07	0.919	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
8.10	0.919	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
8.12	0.919	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
8.14	0.919	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
8.16	0.918	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
8.18	0.918	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
8.20	0.918	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
8.22	0.918	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
8.23	0.918	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	4	10.5
8.25	0.918	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	4	10.9
8.26	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	68	0.00024	0.000113	4	11.2
8.27	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	70	0.00024	0.000113	4	11.5
8.28	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	72	0.00024	0.000113	4	11.9
8.29	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	4	12.2
8.30	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	76	0.00024	0.000113	4	12.5
8.31	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	78	0.00024	0.000113	4	12.9
8.32	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	80	0.00024	0.000113	4	13.2
8.33	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	82	0.00024	0.000113	4	13.5
8.33	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	84	0.00024	0.000113	4	13.8
8.34	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	86	0.00024	0.000113	4	14.2
8.34	0.917	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	88	0.00024	0.000113	4	14.5
8.35	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	90	0.00024	0.000113	4	14.8
8.36	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	92	0.00024	0.000113	4	15.2
8.37	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	97	0.00024	0.000113	4	16.0
8.38	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	102	0.00024	0.000113	4	16.8
8.38	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	107	0.00024	0.000113	4	17.6
8.39	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	112	0.00024	0.000113	4	18.5
8.40	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	117	0.00024	0.000113	4	19.3
8.40	0.916	0.2086	0.019184	0.0201	0.792	0.2	0.35	122	0.00024	0.000113	4	20.1

C. 2 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kuat Medan Magnet.

Asumsi harga K_2 konstan pada $t_s = 120$ menit untuk menghilangkan efek sirkulasi.

$V = 0,554 \text{ m/s T}$; $V = 240 \text{ mL}$; $[\text{Ca}^{2+}]_i = 0,004 \text{ M}$; dan $L_m = 0,35 \text{ m}$.

C. 2. 1 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kuat Medan Magnet 0,2 T

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
3.90	0.961	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.02	0.960	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
4.13	0.959	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7
4.23	0.958	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
4.32	0.957	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
4.40	0.956	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6
4.48	0.955	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
4.55	0.955	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
4.61	0.954	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
4.66	0.953	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
4.71	0.953	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
4.76	0.952	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
4.80	0.952	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
4.84	0.952	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
4.87	0.951	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
4.90	0.951	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
4.93	0.951	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
4.96	0.950	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
4.98	0.950	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
5.00	0.950	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
5.02	0.950	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
5.04	0.950	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
5.05	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
5.07	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
5.08	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
5.09	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
5.10	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
5.11	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
5.12	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
5.13	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
5.13	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
5.14	0.949	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
5.15	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	63	0.00024	0.000113	4	10.4
5.15	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	65	0.00024	0.000113	4	10.7
5.15	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	67	0.00024	0.000113	4	11.0
5.16	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	69	0.00024	0.000113	4	11.4
5.17	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	4	12.2
5.18	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	79	0.00024	0.000113	4	13.0
5.18	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	84	0.00024	0.000113	4	13.8
5.19	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	89	0.00024	0.000113	4	14.7
5.19	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	94	0.00024	0.000113	4	15.5
5.19	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	99	0.00024	0.000113	4	16.3

5.20	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	104	0.00024	0.000113	4	17.1
5.20	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	109	0.00024	0.000113	4	18.0
5.20	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	114	0.00024	0.000113	4	18.8
5.20	0.948	0.28	0.015373	0.0173	0.554	0.2	0.35	119	0.00024	0.000113	4	19.6

C. 2. 2 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kuat Medan Magnet 0,4 T.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.29	0.957	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.42	0.956	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
4.54	0.955	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7
4.65	0.954	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
4.75	0.953	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
4.84	0.952	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6
4.92	0.951	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
4.99	0.950	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
5.06	0.949	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
5.12	0.949	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
5.18	0.948	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
5.23	0.948	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
5.27	0.947	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
5.31	0.947	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
5.35	0.946	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
5.39	0.946	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
5.42	0.946	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
5.44	0.946	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
5.47	0.945	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
5.49	0.945	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
5.51	0.945	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
5.53	0.945	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
5.55	0.945	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
5.56	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
5.58	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
5.59	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
5.60	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
5.61	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
5.62	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
5.63	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
5.64	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
5.65	0.944	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
5.65	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	4	10.5
5.66	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	4	10.9
5.67	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	71	0.00024	0.000113	4	11.7
5.68	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	76	0.00024	0.000113	4	12.5
5.69	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	81	0.00024	0.000113	4	13.3
5.69	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	86	0.00024	0.000113	4	14.2
5.70	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	91	0.00024	0.000113	4	15.0
5.70	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	96	0.00024	0.000113	4	15.8
5.70	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	101	0.00024	0.000113	4	16.6
5.71	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	106	0.00024	0.000113	4	17.5

5.71	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	111	0.00024	0.000113	4	18.3
5.71	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	116	0.00024	0.000113	4	19.1
5.71	0.943	0.28	0.016972	0.0191	0.554	0.2	0.35	121	0.00024	0.000113	4	19.9

C. 2. 3 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kuat Medan Magnet 0,52 T.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	Ts	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.64	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
4.76	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7
4.88	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
4.98	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
5.08	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6
5.16	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
5.24	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
5.38	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
5.49	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
5.58	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
5.62	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
5.65	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
5.71	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
5.76	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	4	10.5
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	4	10.9
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	68	0.00024	0.000113	4	11.2
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00024	0.000113	4	11.5
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	72	0.00024	0.000113	4	11.9
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	4	12.2
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	79	0.00024	0.000113	4	13.0
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	84	0.00024	0.000113	4	13.8
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	89	0.00024	0.000113	4	14.7
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	94	0.00024	0.000113	4	15.5

5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	99	0.00024	0.000113	4	16.3
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	104	0.00024	0.000113	4	17.1
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	109	0.00024	0.000113	4	18.0
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	114	0.00024	0.000113	4	18.8
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	119	0.00024	0.000113	4	19.6
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	124	0.00024	0.000113	4	20.4

C. 3 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Kuat Medan Magnet.

Asumsi harga K_2 konstan pada $t_s = 120$ menit untuk menghilangkan efek sirkulasi.

$V = 0,554$ m/s T; $V = 240$ mL; $[Ca^{2+}]_i = 0,004$ M; dan $B = 0,52$ T.

C. 3. 1 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Panjang Magnet 0,05 m.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	Ts	Vol	A	Cai	Tm
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.60	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	10	0.00024	0.000113	4	0.2
4.69	0.953	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	20	0.00024	0.000113	4	0.5
4.78	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	30	0.00024	0.000113	4	0.7
4.86	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	40	0.00024	0.000113	4	0.9
4.94	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	50	0.00024	0.000113	4	1.2
5.01	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	60	0.00024	0.000113	4	1.4
5.08	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	70	0.00024	0.000113	4	1.6
5.14	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	80	0.00024	0.000113	4	1.9
5.20	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	90	0.00024	0.000113	4	2.1
5.25	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	100	0.00024	0.000113	4	2.4
5.30	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	110	0.00024	0.000113	4	2.6
5.35	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	120	0.00024	0.000113	4	2.8
5.39	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	130	0.00024	0.000113	4	3.1
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	140	0.00024	0.000113	4	3.3
5.47	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	150	0.00024	0.000113	4	3.5
5.51	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	160	0.00024	0.000113	4	3.8
5.54	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	170	0.00024	0.000113	4	4.0
5.57	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	180	0.00024	0.000113	4	4.2
5.60	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	190	0.00024	0.000113	4	4.5
5.63	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	200	0.00024	0.000113	4	4.7
5.65	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	210	0.00024	0.000113	4	4.9
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	220	0.00024	0.000113	4	5.2
5.70	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	230	0.00024	0.000113	4	5.4
5.72	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	240	0.00024	0.000113	4	5.7
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	250	0.00024	0.000113	4	5.9
5.75	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	260	0.00024	0.000113	4	6.1
5.77	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	270	0.00024	0.000113	4	6.4
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	280	0.00024	0.000113	4	6.6
5.80	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	290	0.00024	0.000113	4	6.8
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	300	0.00024	0.000113	4	7.1
5.83	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	310	0.00024	0.000113	4	7.3
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	320	0.00024	0.000113	4	7.5
5.85	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	330	0.00024	0.000113	4	7.8

5.86	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	340	0.00024	0.000113	4	8.0
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	350	0.00024	0.000113	4	8.2
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	360	0.00024	0.000113	4	8.5
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	370	0.00024	0.000113	4	8.7
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	380	0.00024	0.000113	4	8.9
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	390	0.00024	0.000113	4	9.2
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	400	0.00024	0.000113	4	9.4
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	410	0.00024	0.000113	4	9.7
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	420	0.00024	0.000113	4	9.9
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	430	0.00024	0.000113	4	10.1
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	440	0.00024	0.000113	4	10.4
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	450	0.00024	0.000113	4	10.6
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	460	0.00024	0.000113	4	10.8
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	470	0.00024	0.000113	4	11.1
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	480	0.00024	0.000113	4	11.3
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	490	0.00024	0.000113	4	11.5
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	500	0.00024	0.000113	4	11.8
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	510	0.00024	0.000113	4	12.0
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	560	0.00024	0.000113	4	13.2
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.05	610	0.00024	0.000113	4	14.4

C. 3. 2 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Panjang Magnet 0,15 m.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.56	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	2	0.00024	0.000113	4	0.1
4.70	0.953	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	7	0.00024	0.000113	4	0.5
4.83	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	12	0.00024	0.000113	4	0.8
4.95	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	17	0.00024	0.000113	4	1.2
5.05	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	22	0.00024	0.000113	4	1.6
5.15	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	27	0.00024	0.000113	4	1.9
5.23	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	32	0.00024	0.000113	4	2.3
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	37	0.00024	0.000113	4	2.6
5.38	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	42	0.00024	0.000113	4	3.0
5.44	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	47	0.00024	0.000113	4	3.3
5.49	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	52	0.00024	0.000113	4	3.7
5.54	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	57	0.00024	0.000113	4	4.0
5.59	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	62	0.00024	0.000113	4	4.4
5.63	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	67	0.00024	0.000113	4	4.7
5.67	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	72	0.00024	0.000113	4	5.1
5.70	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	77	0.00024	0.000113	4	5.4
5.73	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	82	0.00024	0.000113	4	5.8
5.76	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	87	0.00024	0.000113	4	6.1
5.78	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	92	0.00024	0.000113	4	6.5
5.80	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	97	0.00024	0.000113	4	6.9
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	102	0.00024	0.000113	4	7.2
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	107	0.00024	0.000113	4	7.6
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	112	0.00024	0.000113	4	7.9
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	117	0.00024	0.000113	4	8.3
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	122	0.00024	0.000113	4	8.6

5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	127	0.00024	0.000113	4	9.0
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	132	0.00024	0.000113	4	9.3
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	137	0.00024	0.000113	4	9.7
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	142	0.00024	0.000113	4	10.0
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	147	0.00024	0.000113	4	10.4
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	152	0.00024	0.000113	4	10.7
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	157	0.00024	0.000113	4	11.1
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	162	0.00024	0.000113	4	11.4
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	167	0.00024	0.000113	4	11.8
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	172	0.00024	0.000113	4	12.1
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	177	0.00024	0.000113	4	12.5
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	182	0.00024	0.000113	4	12.9
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	232	0.00024	0.000113	4	16.4
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	312	0.00024	0.000113	4	22.0
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	412	0.00024	0.000113	4	29.1
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	512	0.00024	0.000113	4	36.2
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.15	612	0.00024	0.000113	4	43.2

C. 3. 3 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Panjang Magnet 0,25 m.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.60	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	2	0.00024	0.000113	4	0.2
4.69	0.953	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	4	0.00024	0.000113	4	0.5
4.86	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	8	0.00024	0.000113	4	0.9
5.01	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	12	0.00024	0.000113	4	1.4
5.14	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	16	0.00024	0.000113	4	1.9
5.25	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	20	0.00024	0.000113	4	2.4
5.35	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	24	0.00024	0.000113	4	2.8
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	28	0.00024	0.000113	4	3.3
5.51	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	32	0.00024	0.000113	4	3.8
5.57	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	36	0.00024	0.000113	4	4.2
5.63	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	40	0.00024	0.000113	4	4.7
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	44	0.00024	0.000113	4	5.2
5.72	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	48	0.00024	0.000113	4	5.7
5.75	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	52	0.00024	0.000113	4	6.1
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	56	0.00024	0.000113	4	6.6
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	60	0.00024	0.000113	4	7.1
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	64	0.00024	0.000113	4	7.5
5.86	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	68	0.00024	0.000113	4	8.0
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	72	0.00024	0.000113	4	8.5
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	76	0.00024	0.000113	4	8.9
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	80	0.00024	0.000113	4	9.4
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	84	0.00024	0.000113	4	9.9
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	88	0.00024	0.000113	4	10.4
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	92	0.00024	0.000113	4	10.8
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	96	0.00024	0.000113	4	11.3
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	100	0.00024	0.000113	4	11.8
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	104	0.00024	0.000113	4	12.2

5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	154	0.00024	0.000113	4	18.1
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	204	0.00024	0.000113	4	24.0
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	304	0.00024	0.000113	4	35.8
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	404	0.00024	0.000113	4	47.6
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	504	0.00024	0.000113	4	59.3
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.25	604	0.00024	0.000113	4	71.1

C. 3. 4 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Panjang Magnet 0,35 m.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k _a B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.64	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
4.76	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7
4.88	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
4.98	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
5.08	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6
5.16	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
5.24	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
5.38	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
5.49	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
5.58	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
5.62	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
5.65	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
5.71	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
5.76	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	4	10.5
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	4	10.9
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	68	0.00024	0.000113	4	11.2
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00024	0.000113	4	11.5
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	72	0.00024	0.000113	4	11.9
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	4	12.2
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	76	0.00024	0.000113	4	12.5

5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	86	0.00024	0.000113	4	14.2
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	186	0.00024	0.000113	4	30.7
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	286	0.00024	0.000113	4	47.1
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	386	0.00024	0.000113	4	63.6
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	486	0.00024	0.000113	4	80.1
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	586	0.00024	0.000113	4	96.6

C. 4 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Konsentrasi Sampel.

Asumsi harga K_2 konstan pada $t_s = 120$ menit untuk menghilangkan efek sirkulasi.

$B = 0,52$ T; $V = 240$ mL; $v = 0,554$ m/s; dan $L_m = 0,35$ m

C. 4. 1 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Konsentrasi sampel 200 ppm.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	2	0.0
2.64	0.974	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	2	0.0
2.92	0.971	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	2	0.3
3.17	0.968	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	2	0.7
3.39	0.966	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	2	1.0
3.59	0.964	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	2	1.3
3.77	0.962	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	2	1.6
3.93	0.961	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	2	2.0
4.07	0.959	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	2	2.3
4.20	0.958	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	2	2.6
4.32	0.957	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	2	3.0
4.42	0.956	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	2	3.3
4.51	0.955	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	2	3.6
4.59	0.954	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	2	4.0
4.66	0.953	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	2	4.3
4.73	0.953	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	2	4.6
4.79	0.952	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	2	4.9
4.84	0.952	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	2	5.3
4.89	0.951	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	2	5.6
4.93	0.951	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	2	5.9
4.97	0.950	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	2	6.3
5.00	0.950	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	2	6.6
5.03	0.950	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	2	6.9
5.06	0.949	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	2	7.3
5.08	0.949	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	2	7.6
5.10	0.949	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	2	7.9
5.12	0.949	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	2	8.2
5.14	0.949	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	2	8.6
5.16	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	2	8.9
5.17	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	2	9.2
5.18	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	2	9.6
5.19	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	2	9.9
5.20	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	2	10.2
5.21	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	2	10.5
5.22	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	2	10.9
5.23	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	68	0.00024	0.000113	2	11.2

5.23	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00024	0.000113	2	11.5
5.24	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	72	0.00024	0.000113	2	11.9
5.24	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	2	12.2
5.25	0.948	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	76	0.00024	0.000113	2	12.5
5.25	0.947	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	78	0.00024	0.000113	2	12.9
5.26	0.947	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	80	0.00024	0.000113	2	13.2
5.27	0.947	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	90	0.00024	0.000113	2	14.8
5.28	0.947	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	100	0.00024	0.000113	2	16.5
5.28	0.947	0.32	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	110	0.00024	0.000113	2	18.1

C. 4. 2 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Konsentrasi sampel 400 ppm.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.64	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
4.76	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7
4.88	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
4.98	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
5.08	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6
5.16	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
5.24	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
5.38	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
5.49	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
5.58	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
5.62	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
5.65	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
5.71	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
5.76	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	4	10.5
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	4	10.9
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	68	0.00024	0.000113	4	11.2
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00024	0.000113	4	11.5

5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	72	0.00024	0.000113	4	11.9
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	4	12.2
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	76	0.00024	0.000113	4	12.5
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	78	0.00024	0.000113	4	12.9
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	80	0.00024	0.000113	4	13.2
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	82	0.00024	0.000113	4	13.5
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	84	0.00024	0.000113	4	13.8
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	86	0.00024	0.000113	4	14.2
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	88	0.00024	0.000113	4	14.5
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	90	0.00024	0.000113	4	14.8
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	92	0.00024	0.000113	4	15.2
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	97	0.00024	0.000113	4	16.0
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	102	0.00024	0.000113	4	16.8
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	107	0.00024	0.000113	4	17.6

C. 4. 3 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Konsentrasi sampel 500 ppm.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1.000	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	5	0.0
5.14	0.949	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	5	0.0
5.25	0.947	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	5	0.3
5.36	0.946	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	5	0.7
5.45	0.945	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	5	1.0
5.54	0.945	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	5	1.3
5.61	0.944	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	5	1.6
5.69	0.943	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	5	2.0
5.75	0.942	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	5	2.3
5.81	0.942	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	5	2.6
5.86	0.941	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	5	3.0
5.91	0.941	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	5	3.3
5.96	0.940	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	5	3.6
6.00	0.940	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	5	4.0
6.04	0.940	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	5	4.3
6.07	0.939	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	5	4.6
6.10	0.939	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	5	4.9
6.13	0.939	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	5	5.3
6.16	0.938	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	5	5.6
6.18	0.938	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	5	5.9
6.20	0.938	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	5	6.3
6.22	0.938	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	5	6.6
6.24	0.938	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	5	6.9
6.26	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	5	7.3
6.27	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	5	7.6
6.29	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	5	7.9
6.30	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	5	8.2
6.31	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	5	8.6
6.32	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	5	8.9
6.33	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	5	9.2
6.34	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	5	9.6
6.35	0.937	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	5	9.9
6.35	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	5	10.2

6.36	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	5	10.5
6.37	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	69	0.00024	0.000113	5	11.4
6.38	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	5	12.2
6.39	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	79	0.00024	0.000113	5	13.0
6.40	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	84	0.00024	0.000113	5	13.8
6.41	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	94	0.00024	0.000113	5	15.5
6.42	0.936	0.26	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	104	0.00024	0.000113	5	17.1

C. 5 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Volume Sampel.

Asumsi harga K_2 konstan pada $t_s = 120$ menit untuk menghilangkan efek sirkulasi.

$B = 0,52$ T; $[Ca^{2+}]/[Ca^{2+}]_i = 0,004$ M; $v = 0,554$ m/s; dan $L_m = 0,35$ m

C. 5. 1 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Volume sampel 120 mL.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00012	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00012	0.000113	4	0.0
4.76	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00012	0.000113	4	0.7
4.98	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00012	0.000113	4	1.3
5.16	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00012	0.000113	4	2.0
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00012	0.000113	4	2.6
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00012	0.000113	4	3.3
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00012	0.000113	4	4.0
5.62	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00012	0.000113	4	4.6
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00012	0.000113	4	5.3
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00012	0.000113	4	5.9
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00012	0.000113	4	6.6
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00012	0.000113	4	7.3
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00012	0.000113	4	7.9
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00012	0.000113	4	8.6
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00012	0.000113	4	9.2
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00012	0.000113	4	9.9
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00012	0.000113	4	10.5
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00012	0.000113	4	11.2
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00012	0.000113	4	11.9
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00012	0.000113	4	12.5
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00012	0.000113	4	13.2
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00012	0.000113	4	16.5
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00012	0.000113	4	19.8
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00012	0.000113	4	23.1
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	80	0.00012	0.000113	4	26.4
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	90	0.00012	0.000113	4	29.7
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	100	0.00012	0.000113	4	33.0
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	130	0.00012	0.000113	4	42.8
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	160	0.00012	0.000113	4	52.7
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	190	0.00012	0.000113	4	62.6

C. 5. 2 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Volume sampel 240 mL

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.00024	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.00024	0.000113	4	0.0
4.64	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.00024	0.000113	4	0.3
4.76	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.00024	0.000113	4	0.7
4.88	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.00024	0.000113	4	1.0
4.98	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.00024	0.000113	4	1.3
5.08	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.00024	0.000113	4	1.6
5.16	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.00024	0.000113	4	2.0
5.24	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.00024	0.000113	4	2.3
5.31	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.00024	0.000113	4	2.6
5.38	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.00024	0.000113	4	3.0
5.43	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.00024	0.000113	4	3.3
5.49	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.00024	0.000113	4	3.6
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.00024	0.000113	4	4.0
5.58	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.00024	0.000113	4	4.3
5.62	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.00024	0.000113	4	4.6
5.65	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.00024	0.000113	4	4.9
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.00024	0.000113	4	5.3
5.71	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.00024	0.000113	4	5.6
5.74	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.00024	0.000113	4	5.9
5.76	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.00024	0.000113	4	6.3
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.00024	0.000113	4	6.6
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.00024	0.000113	4	6.9
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.00024	0.000113	4	7.3
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.00024	0.000113	4	7.6
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.00024	0.000113	4	7.9
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.00024	0.000113	4	8.2
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.00024	0.000113	4	8.6
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.00024	0.000113	4	8.9
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.00024	0.000113	4	9.2
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.00024	0.000113	4	9.6
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.00024	0.000113	4	9.9
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.00024	0.000113	4	10.2
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.00024	0.000113	4	10.5
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	66	0.00024	0.000113	4	10.9
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	68	0.00024	0.000113	4	11.2
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.00024	0.000113	4	11.5
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	72	0.00024	0.000113	4	11.9
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.00024	0.000113	4	12.2
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	94	0.00024	0.000113	4	15.5
5.99	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	119	0.00024	0.000113	4	19.6
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	144	0.00024	0.000113	4	23.7
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	169	0.00024	0.000113	4	27.8
6.00	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	194	0.00024	0.000113	4	32.0

C. 5. 3 Waktu Efektif Magnetisasi Variasi Volume sampel 500 mL.

%CaCO ₃	Ca/Cai	K ₂	K ₁	k ₀ B ^m	v	n	L	t _s	Vol	A	Cai	t _m
0.00	1	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0	0.0005	0.000113	4	0.0
4.50	0.955	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	0.01	0.0005	0.000113	4	0.0
4.57	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	2	0.0005	0.000113	4	0.2
4.63	0.954	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	4	0.0005	0.000113	4	0.3
4.69	0.953	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	6	0.0005	0.000113	4	0.5
4.75	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	8	0.0005	0.000113	4	0.6
4.81	0.952	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	10	0.0005	0.000113	4	0.8
4.87	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	12	0.0005	0.000113	4	0.9
4.92	0.951	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	14	0.0005	0.000113	4	1.1
4.97	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	16	0.0005	0.000113	4	1.3
5.02	0.950	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	18	0.0005	0.000113	4	1.4
5.06	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	20	0.0005	0.000113	4	1.6
5.10	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	22	0.0005	0.000113	4	1.7
5.14	0.949	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	24	0.0005	0.000113	4	1.9
5.18	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	26	0.0005	0.000113	4	2.1
5.22	0.948	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	28	0.0005	0.000113	4	2.2
5.26	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	30	0.0005	0.000113	4	2.4
5.29	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	32	0.0005	0.000113	4	2.5
5.32	0.947	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	34	0.0005	0.000113	4	2.7
5.35	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	36	0.0005	0.000113	4	2.8
5.38	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	38	0.0005	0.000113	4	3.0
5.41	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	40	0.0005	0.000113	4	3.2
5.44	0.946	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	42	0.0005	0.000113	4	3.3
5.46	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	44	0.0005	0.000113	4	3.5
5.49	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	46	0.0005	0.000113	4	3.6
5.51	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	48	0.0005	0.000113	4	3.8
5.53	0.945	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	50	0.0005	0.000113	4	4.0
5.56	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	52	0.0005	0.000113	4	4.1
5.58	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	54	0.0005	0.000113	4	4.3
5.60	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	56	0.0005	0.000113	4	4.4
5.61	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	58	0.0005	0.000113	4	4.6
5.63	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	60	0.0005	0.000113	4	4.7
5.65	0.944	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	62	0.0005	0.000113	4	4.9
5.66	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	64	0.0005	0.000113	4	5.1
5.68	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	66	0.0005	0.000113	4	5.2
5.69	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	68	0.0005	0.000113	4	5.4
5.71	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	70	0.0005	0.000113	4	5.5
5.72	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	72	0.0005	0.000113	4	5.7
5.73	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	74	0.0005	0.000113	4	5.9
5.75	0.943	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	76	0.0005	0.000113	4	6.0
5.76	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	78	0.0005	0.000113	4	6.2
5.77	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	80	0.0005	0.000113	4	6.3
5.78	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	82	0.0005	0.000113	4	6.5
5.79	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	84	0.0005	0.000113	4	6.6
5.80	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	86	0.0005	0.000113	4	6.8
5.81	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	88	0.0005	0.000113	4	7.0
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	90	0.0005	0.000113	4	7.1
5.82	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	92	0.0005	0.000113	4	7.3

5.83	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	94	0.0005	0.000113	4	7.4
5.84	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	96	0.0005	0.000113	4	7.6
5.85	0.942	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	98	0.0005	0.000113	4	7.8
5.85	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	100	0.0005	0.000113	4	7.9
5.86	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	102	0.0005	0.000113	4	8.1
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	104	0.0005	0.000113	4	8.2
5.87	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	106	0.0005	0.000113	4	8.4
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	108	0.0005	0.000113	4	8.5
5.88	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	110	0.0005	0.000113	4	8.7
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	112	0.0005	0.000113	4	8.9
5.89	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	114	0.0005	0.000113	4	9.0
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	116	0.0005	0.000113	4	9.2
5.90	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	118	0.0005	0.000113	4	9.3
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	120	0.0005	0.000113	4	9.5
5.91	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	122	0.0005	0.000113	4	9.7
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	124	0.0005	0.000113	4	9.8
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	126	0.0005	0.000113	4	10.0
5.92	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	128	0.0005	0.000113	4	10.1
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	130	0.0005	0.000113	4	10.3
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	132	0.0005	0.000113	4	10.4
5.93	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	134	0.0005	0.000113	4	10.6
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	136	0.0005	0.000113	4	10.8
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	138	0.0005	0.000113	4	10.9
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	140	0.0005	0.000113	4	11.1
5.94	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	142	0.0005	0.000113	4	11.2
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	144	0.0005	0.000113	4	11.4
5.95	0.941	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	146	0.0005	0.000113	4	11.5
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	148	0.0005	0.000113	4	11.7
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	150	0.0005	0.000113	4	11.9
5.95	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	152	0.0005	0.000113	4	12.0
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	157	0.0005	0.000113	4	12.4
5.96	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	162	0.0005	0.000113	4	12.8
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	167	0.0005	0.000113	4	13.2
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	172	0.0005	0.000113	4	13.6
5.97	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	177	0.0005	0.000113	4	14.0
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	182	0.0005	0.000113	4	14.4
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	187	0.0005	0.000113	4	14.8
5.98	0.940	0.28	0.017861	0.0201	0.554	0.2	0.35	192	0.0005	0.000113	4	15.2